LOS COCHES ELECTRICOS



NUEVAS TECNOLOGIAS

BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA



marcombo



BIBLIOTECA DE ELECTRONICA/INFORMATICA

LOS COCHES ELECTRICOS



Esta obra es una nueva edición actualizada y ampliada de la obra originalmente publicada por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, con el título de «Aplicaciones de la Electrónica»

El contenido de la presente obra ha sido realizado por Marcombo, S.A. de Boixareu editores, bajo la dirección técnica de José Mompin Poblet, director de la revista «Mundo Electrónico»

ISBN 84-7634-485-6 (Obra completa)
ISBN 84-7634-592-5 (Vol. 17)
D. L.: B. 12650-1986

Impreso y encuadernado por
Printer industria gráfica sa Provenza, 388 08025 Barcelona
Sant Vicenç dels Horts 1986

Printed in Spain

Los coches eléctricos

UN POCO DE HISTORIA SOBRE EL VEHICULO ELECTRICO

Contrariamente a lo que pueda parecer, los primeros vehículos autónomos fueron los eléctricos. Ya en 1897, en la compañía Krieger de París, se lanzaron los primeros vehículos eléctricos que fueron experimentados en las pruebas del Motor Cab de París.

La compañía francesa BGS Electric Car, en 1900 batió el record de la distancia llegando a los 290 km por carga de batería. Esta compañía construyó coches, camionetas,



Amplio muestrario de las posibilidades que presentan los vehículos eléctricos. Desde las pequeñas carretillas, hasta los autobuses y camiones, pueden emplear la energía eléctrica almacenada en baterías.

autobuses y otros vehículos eléctricos desde 1899 a 1906. Las baterías fueron fabricadas por ellos mismos.

La compañía Woods de vehículos de motor de Chicago, fundada en 1898, fabricó el modelo eléctrico Woods 1915, con ruedas cubiertas de goma sólida consiguiendo 60 km/h.

La compañía Buffalo Electric Carriage de Buffalo, construyó un modelo ligero de dos plazas, con una velocidad de 48 km/h, del cual se llegaron a vender 34.000 vehículos en 1906.



En 1899, Valdemar Jungner obtuvo la patente para la primera batería alcalina del mundo. En el verano de 1900 demostró su capacidad delante de una sorprendida audiencia de especialistas. Con una batería, mantuvo un vehículo de American Wverly Run por los alrededores de Estocolmo durante 12 horas, en las que recorrió 92,3 millas antes de quedar descargada.

Hacia el final de la Primera Guerra Mundial, el motor de explosión, más sucio y ruidoso, había barrido a cualquier otro tipo de vehículos de la industria del automóvil, imponiéndose por su superior autonomía, potencia y atractivo; ofrecía una buena combinación de coste, prestaciones y tecnología de fabricación. Su capacidad de suministrar potencias cada vez mayores lo hicieron más y

más interesante, ampliando la base de la industria del automóvil, de forma que hacia la mitad de este siglo la industria de fabricación de automóviles había incorporado tantas empresas comerciales y auxiliares que se había convertido en un conglomerado económico de importancia



Vehículo deportivo de tracción eléctrica. Aquí se han conjugado las óptimas prestaciones de tipo mecánico con el diseño externo.

nacional en todos los países. Cualquier cambio drástico o brusco en sus productos o tecnología de fabricación llegó a suponer una considerable amenaza financiera para un país que poseyese esta industria.

Para muchos, sólo esta razón es la que ha venido evitando el nacimiento y desarrollo de otras fuentes de energía, más eficaces y económicas, como competidoras del actual automóvil. Sin embargo, desde un punto de vista estrictamente tecnológico, hay que tener en cuenta que en términos de peso, volumen y densidad de potencia, la gasolina supera en mucho a cualquier otro combustible económicamente disponible en grandes cantidades y compatible con las actuales demandas en el transporte de personas y mercancías.

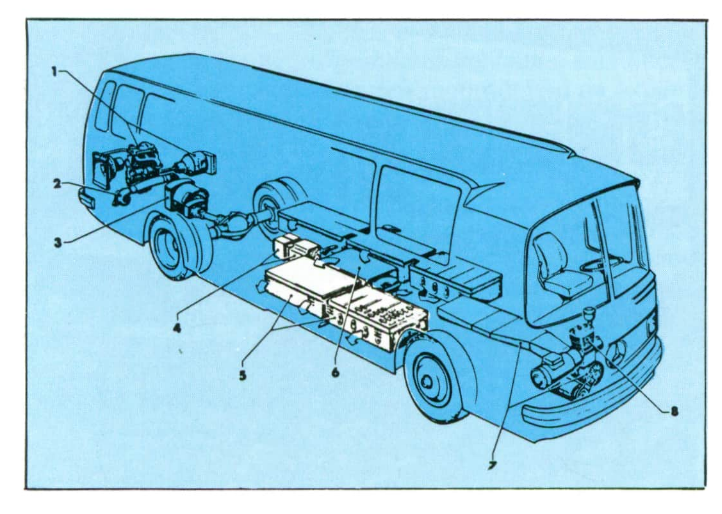
EL COMIENZO DE LA VUELTA ATRAS

Si los parámetros sociales, económicos y técnicos se mantuvieran invariables, el motor de gasolina probablemente continuaría en su posición dominante durante muchos años. Pero las crecientes presiones para conservar petróleo y reducir la contaminación producida por los actuales vehículos, además de la tendencia hacia modelos más pequeños, adecuados para viajes cortos urbanos, y la creciente necesidad de transportes públicos económicos tanto para las personas como para las mercancías en general, están cambiando gradualmente la situación de primacía del motor de explosión. Ello está dando lugar al replanteamiento de alternativas de fuentes de energía y de sistemas de tracción y entre todas ellas, la *propulsión eléctrica* aparece como la mejor alternativa.



Autobús eléctrico de Mercedes Benz, utilizado en las carreteras alemanas.

Otro factor de capital importancia en este relanzamiento de los vehículos de propulsión eléctrica, es el enorme desarrollo y el continuo abaratamiento de los componentes electrónicos, tanto en los de potencia como en la microelectrónica.

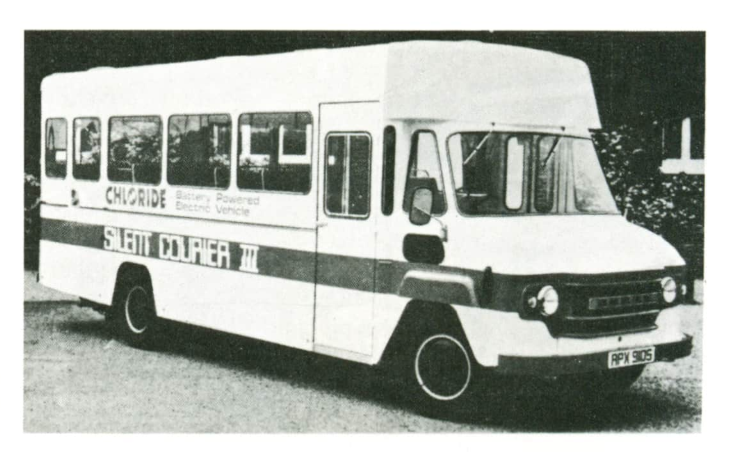


Disposición interna del autobús eléctrico Mercedes Benz expuesto en la figura de la página anterior. Incluye un motor Diesel OM 314 con grupo electrógeno.
1 = Aire de refrigeración del motor;
2 = motor eléctrico de c.c.;
3 = Elemento de alta tensión;
4 = Acumuladores de plomo;
5 = Sistema electrónico de mando.

El advenimiento de grandes semiconductores de potencia (transistores, tiristores, transistores MOSFET, etc.) y de los microprocesadores, hacen posible el diseño de equipos de control capaces de manejar elevadas potencias y de



Moderno diseño de un vehículo eléctrico de uso industrial para reparto de mercancías, pequeño transporte, etc.

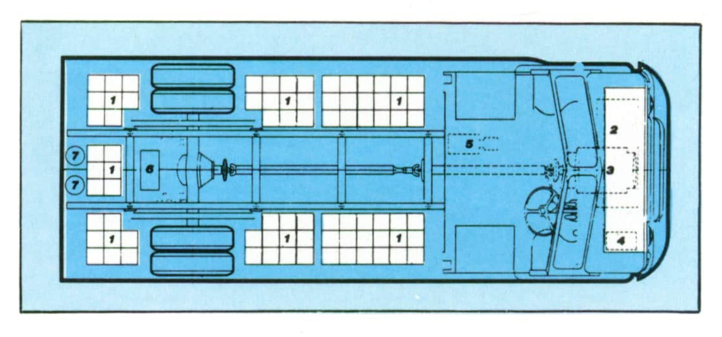


Minibús eléctrico Silent Courier III de la Compañía Chloride.

desarrollar complejos sistemas de control y vigilancia del estado del vehículo, mediante un costo razonable y con un rendimiento de los equipos muy superior al de los primeros vehículos mencionados anteriormente.

FACTORES DE DISEÑO DE VEHICULOS ELECTRICOS

Un gran número de los vehículos eléctricos que se vienen utilizando, son en su mayoría simples conversiones de vehículos convencionales en las que se desmonta el motor, se instalan las baterías, el motor eléctrico y algún equipo más o menos complicado de control, lo que ha venido a



Disposición interna en el autobús Silent Courier III. 1 = Batería de tracción; 2 = Control electrónico; 3 = Motor eléctrico; 4 = Calefactor; 5 = Freno hidráulico; 6 = Batería auxiliar; 7 = Botellas de gas calefactor.

demostrar que sus características de funcionamiento no son muy superiores a las de los primitivos vehículos eléctricos.

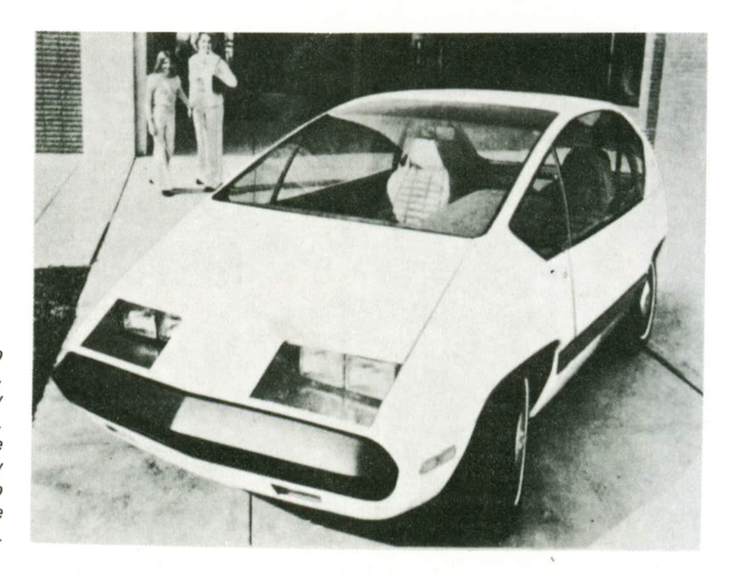
La tendencia actual, avalada por gran número de experimentaciones y prototipos, es diseñar desde la base los vehículos eléctricos como tales, dado que, además de requerir un sistema de propulsión o tracción eléctrica, son muy sensibles al peso y a las pérdidas, tanto aerodinámicas como de rodadura. Ello hace que todos los componentes (desde el chasis y la carrocería hasta los asientos, equipo auxiliar y las mismas ruedas) difieran en diseño, materiales y tecnología de fabricación, de los empleados en los automóviles convencionales.



Línea de montaje del camión eléctrico fabricado por Dodge, modelo Dodge 50.

En el apartado de carrocerías las tendencias aportan diseños de bajo *coeficiente aerodinámico* (este coeficiente indica el efecto de la resistencia del aire, debida a la velocidad del vehículo, sobre la forma de éste) trabajando

sobre temas tales como la eliminación de protuberancias de todo tipo (manivelas de puertas, parachoques, espejos retrovisores exteriores poco eficaces aerodinámicamente hablando, etc.) dado que todo diseño que minimice las turbulencias del flujo de aire alrededor del vehículo ayuda a reducir las pérdidas por fricción. Otra técnica sencilla es hacer que los cristales de las ventanas estén al mismo nivel que el resto del vehículo evitando huecos y salientes. Los sistemas de ventilación y refrigeración representan también otra oportunidad para reducir la fricción, tendiéndose a diseños parecidos a los utilizados en las aeronaves.



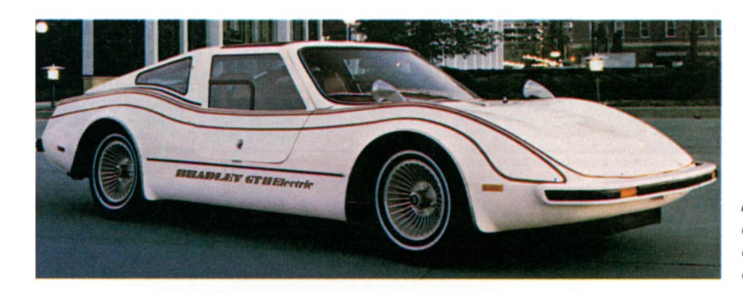
Automóvil eléctrico Copper Electric Town Car, de diseño aerodinámico y carrocería de plástico. Incorpora un motor de excitación separada y control electrónico mediante microprocesador.

Los materiales empleados en las carrocerías son, principalmente, materiales plásticos, nuevas resinas, o mezclas de plásticos y polvos metálicos, lo que les confiere buenas características de rigidez y dureza al mismo tiempo que un peso mucho menor que el de las tradicionales chapas metálicas de los automóviles convencionales.

Como consecuencia de todo ello, ingenieros, estilistas y diseñadores de interior concentran todo el esfuerzo en la reducción de pesos y de pérdidas aerodinámicas y de rodadura, sacrificando otros aspectos a este objetivo.

Las ventajas ambientales, energéticas y económicas

Desde el punto de vista de la contaminación del medio ambiente la utilización de la tracción eléctrica en ámbitos urbanos ofrece enormes e indudables ventajas: eliminación de emisiones gaseosas, sustancial reducción del consumo de oxígeno y supresión de ruidos.



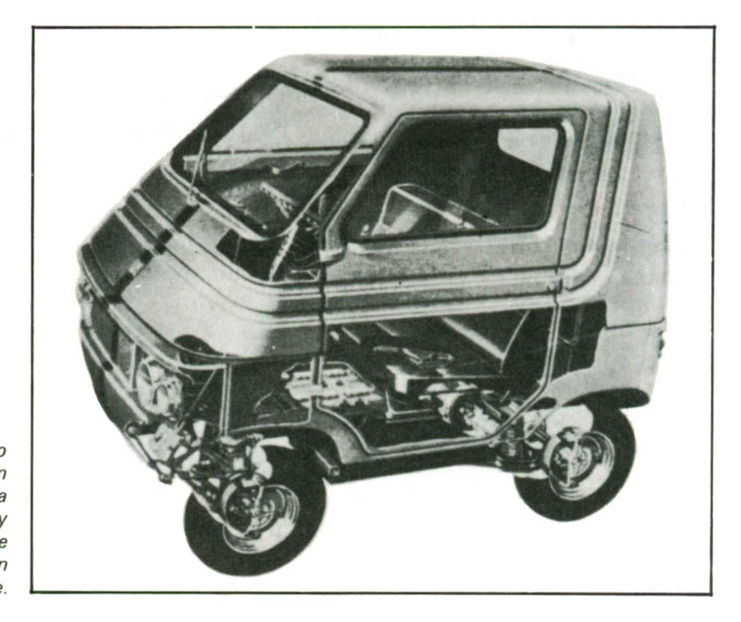
El Badley GT II Electric, une a su moderna técnica un diseño de línea deportiva espectacular.

Aunque los vehículos eléctricos no supondrán un ahorro de energía primaria, sí significarán sin embargo un menor coste por kilómetro para el usuario (del orden del 50 % según la experiencia de las flotillas existentes), debido, fundamentalmente, a los menores costes de mantenimiento de los vehículos, mayor vida de servicio y menor coste de la energía consumida. Otra ventaja importante es la de permitir la utilización de fuentes de energía primaria diferentes del petróleo, de menor coste y mayor disponibilidad.

Además, como los vehículos eléctricos permiten separar en el tiempo el período de utilización del de generación de la electricidad, servirán para optimizar las centrales generadoras existentes, almacenando la electricidad en los períodos de baja utilización (en general durante la noche). Es decir, no se precisan más centrales de las que ya existen hoy para alimentar considerables flotas de vehículos eléctricos; se trata simplemete de producir por la noche la electricidad necesaria en lugar de, como es habitual en todos los sistemas de generación de energía eléctrica, disminuir notablemente su producción nocturna con los costes económicos que ello representa.

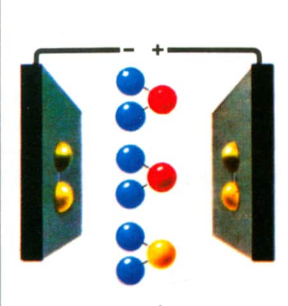
El problema de las baterías

Ningún entusiasta serio de los vehículos eléctricos espera que un vehículo movido con baterías, pueda realizar los actuales viajes de cientos de kilómetros en un futuro próximo. La razón obvia (y el fundamental obstáculo de los vehículos eléctricos) es la falta de una batería con la energía y potencia suficiente. La misma batería de plomo-ácido que movía los coches eléctricos de principios de siglo es la que pueden utilizar, económicamente, los actuales vehículos eléctricos y, a pesar de sus indudables mejoras, todavía supone un enorme peso y unas prestaciones modestas para los vehículos que se sirven de su energía para moverse.



Vehículo eléctrico Zagato (Italia), realizado en diversas versiones. Utiliza baterías plomo-ácido y motor de corriente continua de excitación serie.

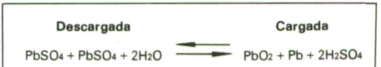
Los vehículos eléctricos que se están utilizando en trabajos y servicios normales, utilizan baterías de plomo-ácido especialmente diseñadas para la tracción. Sus características son adecuadas para determinados tipos de servicios urbanos, precisamente para aquellos que sean compatibles con la limitada capacidad de los sistemas plomo-ácido de



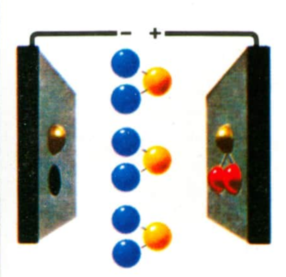
1. ESTADO DE DESCARGA

En estado de descarga, la masa de las placas positivas y negativas está formada por sulfato de plomo $PbSO_4$. El electrolito está formado por ácido sulfúrico H_2SO_4, diluido en agua H_2O.

Reacción Química:



Descargada		Cargada
$PbSO_4 + PbSO_4 + 2H_2O$	$\rightleftharpoons$	$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4$

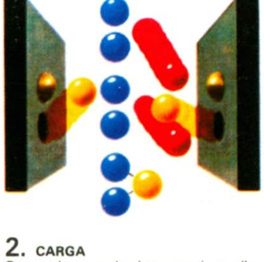


3. ESTADO DE CARGA

Cuando la batería está cargada, la masa activa de las placas negativas está formada por Plomo Metal esponjoso (Pb). La masa activa de las placas positivas está formada por Dióxido de Plomo (PbO_2). Y en consecuencia la densidad o concentración sulfúrica del electrolito ha aumentado, así como la carga de la batería. Por lo tanto, la densidad del electrolito es el indicador del estado de carga de la batería.

CARGADOR

← – + ←

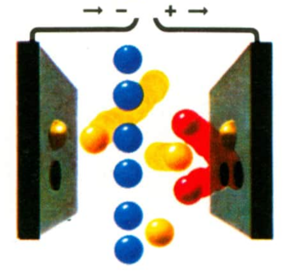


2. CARGA

Durante la carga, la placa negativa recibe electrones, a la vez que la placa positiva los entrega. Para conseguir un equilibrio de carga, la placa negativa cede al electrolito los iones de sulfato (SO_4) con lo que dicha placa negativa se transforma en plomo metal (Pb). La placa positiva, también cede al electrolito los iones de sulfato (SO_4) y se transforma en dióxido de plomo (PbO_2) descomponiéndose parte del agua del electrolito en Oxígeno e Hidrógeno.

RECEPTOR

→ – + →



4. DESCARGA

Si las placas positivas y negativas son descargadas por un receptor, se produce un flujo de electrones de la placa negativa a la placa positiva. Para conseguir el equilibrio, los iones de sulfato (SO_4) del electrolito emigran a las placas negativas y positivas. La placa negativa, que era Plomo Metal (Pb), se transforma en Sulfato de Plomo ($PbSO_4$). La placa positiva, que era Dióxido de Plomo (PbO_2) también se convierte en Sulfato de Plomo ($PbSO_4$). Al emigrar los iones de sulfato del electrolito a las placas, la densidad o concentración sulfúrica del electrolito desciende, indicándonos el estado de descarga de la batería.





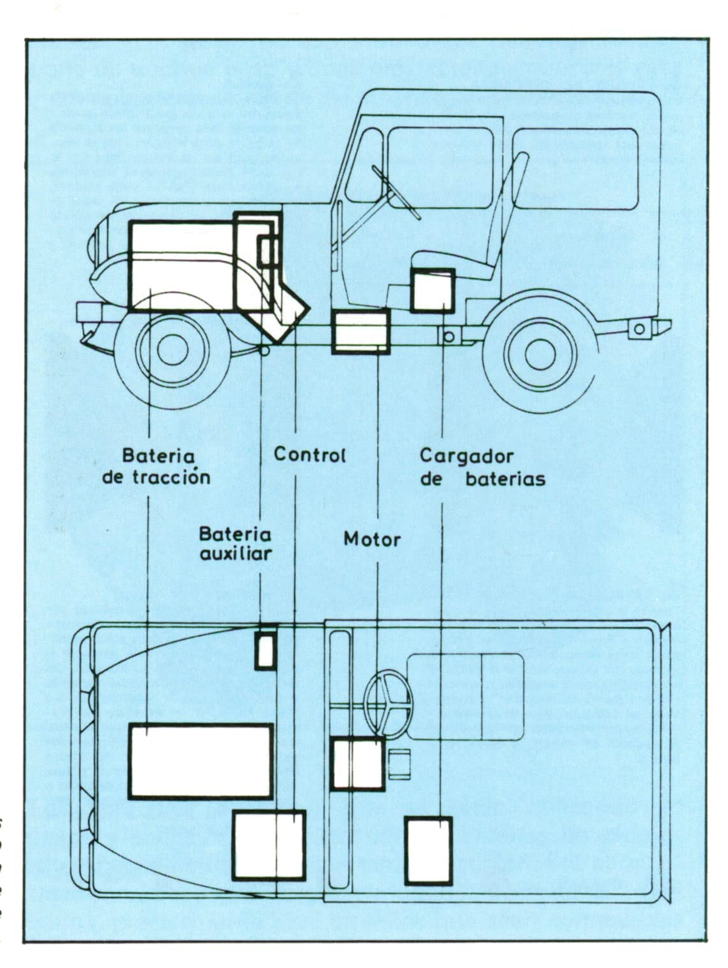


IONES SULFATO SO_4

Representación simplificada de los procesos electroquímicos que tienen lugar durante la carga y la descarga, en el interior de un acumulador convencional, formado por plomo y ácido sulfúrico. (Cortesía: Varta).

acumulación de energía: velocidades moderadas, recorridos diarios no excesivos, en contraposición de tiempos de recarga largos, o prever dispositivos de fácil y rápido acceso para el intercambio de baterías.

La autonomía de un vehículo eléctrico depende de la cantidad de energía almacenada en la batería o densidad de energía, normalmente medida en W·h/kg. La densidad de potencia de la batería, medida en W/kg, define la capacidad de aceleración y velocidad máxima que el vehículo puede



Disposición interna de los componentes de un Jeep eléctrico, que presta servicio en la flota de Correos de la ciudad de Los Angeles.

alcanzar, parámetros que se deducen de las puntas máximas de corriente que puede suministrar la batería sin dañarse. La vida de la batería, esto es, el número de ciclos de carga y descarga que puede soportar sin decaimiento apreciable, depende de varios factores, incluyendo el grado de descarga de la batería. La vida media de las baterías actuales se halla entre 1.000 y 2.000 ciclos de carga-descarga, según lo avanzado del diseño de la batería.



Batería de potencia formada por la asociación serie-paralelo de varios acumuladores elementales. Puede ser utilizada entre otras aplicaciones, en tracción eléctrica.

Uno de los graves inconvenientes de la batería de plomo-ácido es que hace incompatibles los parámetros de alta densidad de energía y larga vida en servicio.

Las actuales baterías de *plomo-ácido* de diseño avanzado, incorporan diversos dispositivos que mejoran las prestaciones de los vehículos eléctricos en servicio urbano. Suelen disponer de dispositivos de recarga automática de agua, de tuberías para purga de gas y un sistema de refrigeración de agua para evitar el sobrecalentamiento que puede ser consecuencia de ciclos rápidos de carga y descarga. Diversos prototipos de baterías incorporan ya las siguientes prestaciones:

— Nuevos tipos de células y monobloques de densidades de energía un 50 % superior a los actuales (40 ÷ 50 Wh/kg).

— Garantía de vida superior a los 1.500 ciclos de carga-descarga.

— Dispositivos de recarga automática de agua y nuevos materiales que permiten reducir la necesidad de suministrar agua a tres o cuatro veces por año.

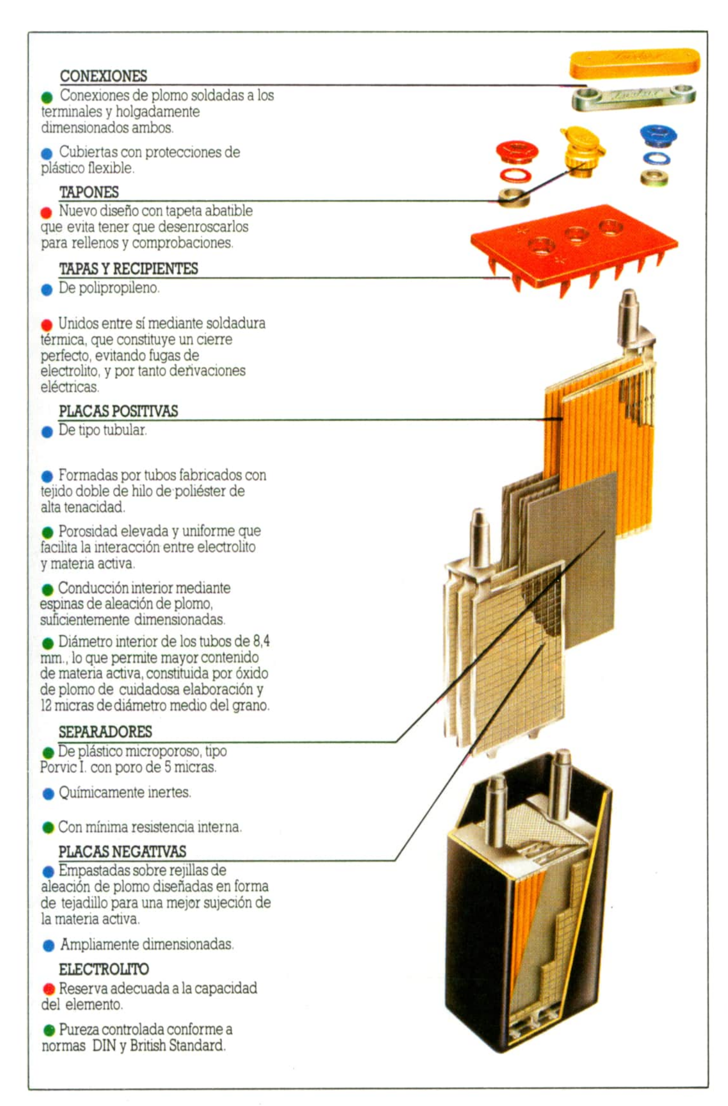
Las baterías de *níquel-cadmio* permiten una razonable aceleración en los vehículos eléctricos; su densidad de potencia es alta, pero su coste es muy superior al de las baterías de plomo-ácido y tienen una vida corta.



Furgoneta eléctrica con una potencia de arranque en el motor de 32 kW. Velocidad de giro máxima 6.700 r.p.m.; tensión nominal de la batería 144 V; potencia 26 kW por hora; peso 850 kg; prestaciones: velocidad máxima 70 km/h y aceleración de 0 a 50 km/h en 12 segundos.

Las baterías de *plata-zinc* tiene una alta densidad de energía y una excelente densidad de potencia, sin embargo, las desventajas son la poca vida y alto coste debido al precio y escasez de la plata. Hasta la fecha sólo ha sido utilizada en vehículos experimentales.

Una batería prometedora es la de *zinc-aire*; su mayor ventaja es su alta densidad de energía, debido al hecho de que la célula no tiene que contener todos los ingredientes necesarios para producir la electricidad (el oxígeno del aire reacciona con el zinc); sus desventajas son, por el momento, su baja densidad de potencia y su corta vida.

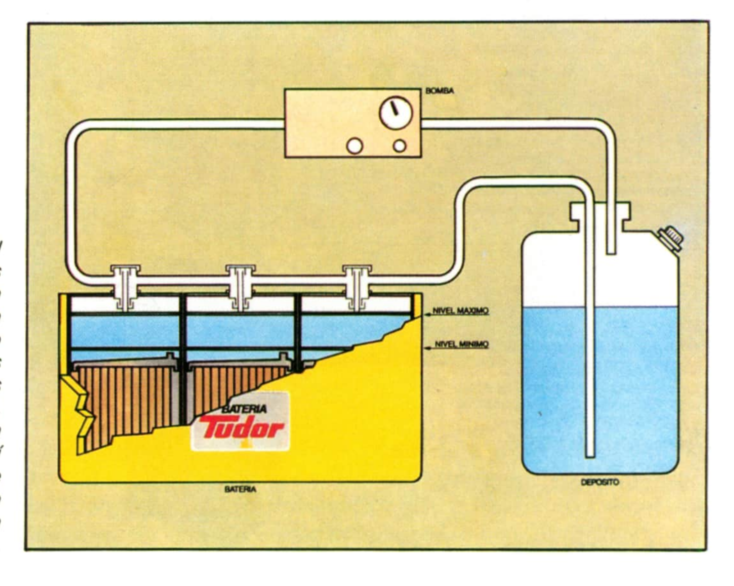


Despiece detallado de una batería de plomo-ácido fabricada por la firma Tudor.

Una forma de aumentar las densidades de energía y potencia de las baterías consiste en utilizar materiales y reductores lo más ligeros posibles; otro camino es utilizar reactivos muy fuertes. Entre los agentes oxidantes ligeros se

encuentran el oxígeno, el aire, los halógenos, el azúfre y mezclas de éstos. Los reductores más enérgicos y ligeros son los metales alcalinos, especialmente el litio y el sodio, este último más abundante y barato.

El disolvente más usual para los electrolitos de las baterías es el agua, barata, abundante y segura. Pero los metales alcalinos reaccionan inmediatamente en contacto con el agua y, por lo tanto, no se pueden utilizar con electrolitos acuosos. Para adecuarse a las especiales características de los metales alcalinos se han desarrollado electrolitos fundidos; el problema es que estos electrolitos contienen materiales muy reactivos y requieren muy altas temperaturas, lo que da lugar a problemas serios de seguridad y aislamiento térmico. Muchos laboratorios están desarrollando baterías con electrolito fundido: *litio-azufre, litio-plomo* y *sodio-azufre*, principalmente.



Con el fin de facilitar el mantenimiento de las baterías, Tudor ha desarrollado un sistema para rellenar al mismo tiempo todos los elementos de las baterías que precisan hacerlo. Todos los tapones están conectados entre sí mediante un tubo de plástico, que permite la circulación del agua desionizada.

La batería de *litio-azufre* utiliza cloruro de litio fundido con otras sales como electrolito; su temperatura de funcionamiento es de unos 400°C lo que da lugar a graves problemas de construcción, además de tener una corta vida de servicio. Las densidades de energía obtenidas con esta

batería, están por encima de 60 W·h/kg y las densidades de potencia son del orden de 70 W/kg.

La batería de *litio-plomo* ha alcanzado en laboratorio una densidad de energía de 70 W·h/kg y una densidad de potencia de más de 100 W/kg. El mayor inconveniente es que el electrolito (cloruro de litio fundido) requiere una temperatura de 700°C.

La batería de *sodio-azufre* (se considera del tipo de sal fundida, dado que opera a unos 300°C) utiliza electrodos de sodio-azufre y un electrolito cerámico-sólido (B-albúmina) que permite el paso de los iones del sodio líquido al azufre líquido.



En la foto puede observarse el cambio del paquete de baterías que va alojado en el remolque arrastrado por el autobús eléctrico; dicho paquete tiene un peso de 6 toneladas y una capacidad de 45 Ah.

Otra batería muy prometedora es la de *zinc-cloro* que opera a temperatura ambiente, su único inconveniente consiste en el manejo de cloro, enormemente corrosivo y tóxico.

Por el momento, los desarrollos que están captando la atención de los organismos de investigación de Estados Unidos, Japón e Inglaterra son fundamentalmente las baterías a base de *níquel-zinc* y *sodio-azufre*.

MOTORES PARA VEHICULOS ELECTRICOS. ELEMENTOS DE CORRIENTE CONTINUA

La máquina de corriente continua es de polos salientes situados en el estator (parte no giratoria del motor). En estos polos se alojan varias bobinas, llamadas bobinas de campo, que pueden conectarse de diversas maneras a un suministro de corriente continua.

El rotor (o parte giratoria) es una estructura cilíndrica, en la que se alojan bobinas distribuidas en ranuras y conectadas a un conmutador de delgas. Estas bobinas se designan como bobinas de armadura. El conmutador de delgas es el que entra en contacto con las escobillas y permite la alimentación de corriente al circuito de armadura.

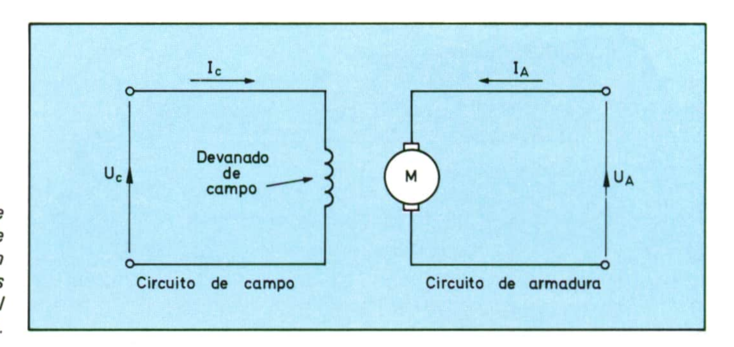


Figura 20. Esquema de conexión del motor de excitación separada. En él se hallan diferenciados el circuito de campo y el de la armadura.

Según sea la configuración del circuito de campo y su conexión con el circuito de armadura, se distinguen dos tipos de motores de corriente continua: motores de excitación independiente (motores shunt) y motores serie.

Matemáticamente puede demostrarse que en un motor de corriente continua la potencia desarrollada por éste no depende de la tensión de alimentación.

Motores de excitación independiente

Si se dispone este tipo de conexión, el motor de corriente continua es totalmente controlable (figura 20).

Para variar la velocidad del motor de excitación independiente se ofrecen dos alternativas: controlarlo por el circuito de armadura o por el circuito de campo.

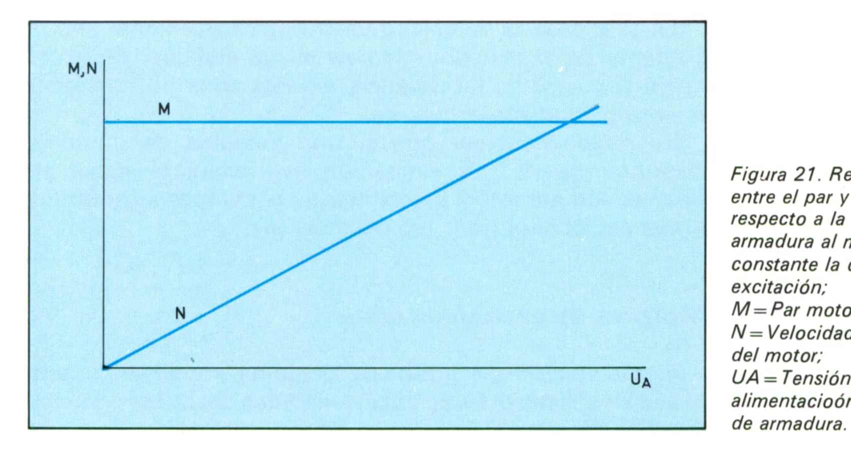


Figura 21. Relación entre el par y la velocidad, respecto a la tensión de la armadura al mantener constante la corriente de excitación; M = Par motor; N = Velocidad de rotación del motor; UA = Tensión de alimentacioón del circuito de armadura.

Si se controla mediante el circuito de armadura, se varía la tensión de alimentación de este circuito mientras se mantiene constante la corriente de campo, también llamada de excitación. En estas condiciones, la velocidad de rotación varía linealmente con la tensión aplicada mientras el par permanece constante (figura 21). Por lo tanto la potencia también varía linealmente con la velocidad, ésta constituye la llamada zona de funcionamiento a par constante.

En la segunda alternativa de variación de velocidad se mantiene constante la tensión de alimentación del circuito de armadura y se varía la corriente de excitación.

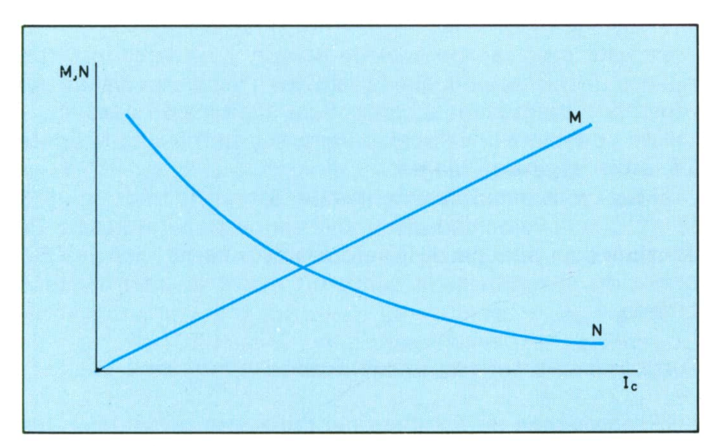


Figura 22. Relación entre el par y la velocidad, respecto a la corriente de excitación al mantener constante la tensión de alimentación del circuito de armadura; M = Par motor; N = Velocidad de rotación del motor; Ic = Corriente de excitación.

En este caso la velocidad varía hiperbólicamente con la corriente de excitación, mientras el par aumenta de forma lineal (figura 22). La potencia en esta zona de funcionamiento permanece constante.

Se puede observar que si una máquina de corriente continua queda sin excitación, se acelerará hasta su destrucción por rotura de cojinetes y por la fuerza centrífuga actuante sobre el rotor (embalamiento).

Motores de excitación serie

Esta conexión del motor de corriente continua ha sido usada en aplicaciones de tración eléctrica desde los primeros diseños (figura 23).

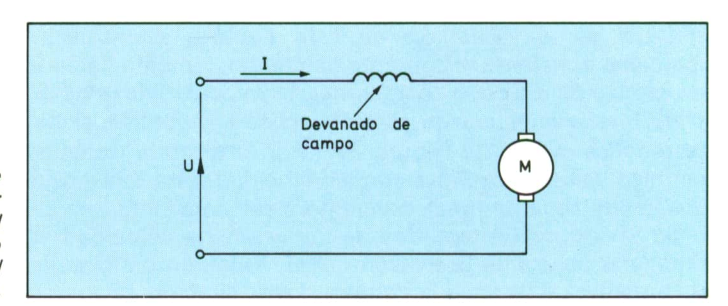


Figura 23. Esquema de conexión serie del motor de corriente continua. El devanado de campo queda en serie con el circuito de armadura.

En este caso la corriente de campo y de armadura son iguales (la misma), por ello la velocidad del motor disminuye hiperbólicamente con la carga. Para una tensión de alimentación constante la velocidad varía, según muestra la figura 24, en la página siguiente.

El par crece parabólicamente con la intensidad de carga, a la vez que la velocidad disminuye según se ha indicado. La acusada dependencia de la velocidad y la carga hace que sea conocido el motor serie como un motor de característica blanda.

Aplicaciones típicas en vehículos eléctricos

El motor serie de corriente continua está presente en los

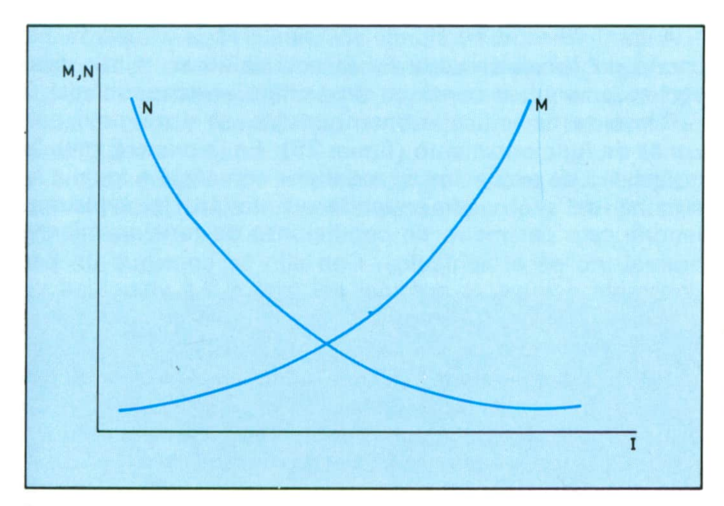
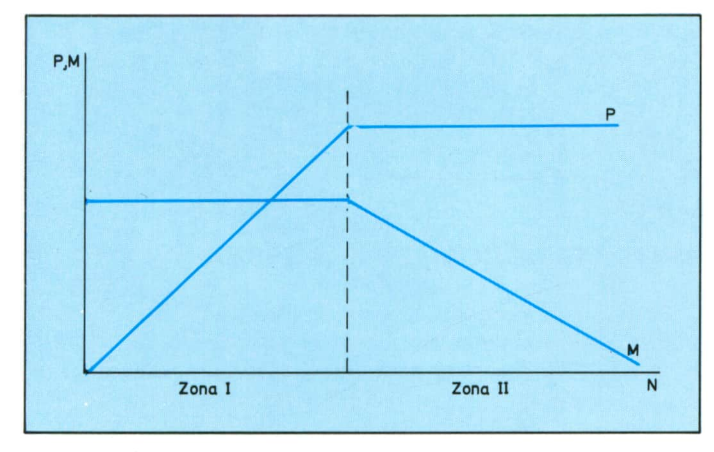


Figura 24. Relación entre par y velocidad, respecto a la corriente para el motor de conexión serie; M = Par motor; N = Velocidad de giro del motor; I = Corriente de alimentación.

primeros diseños de vehículos eléctricos y en las unidades eléctricas de tracción. En esta última aplicación es como mejor se les conoce: locomotoras de ferrocarril, unidades de tracción pesadas, metros y tranvías.

Ello es debido a que este tipo de conexión del motor de continua no requiere control. La característica blanda de velocidad es de por sí una regulación automática muy segura y estable.



Relación potencia y par, respecto a la velocidad en las zonas de funcionamiento del motor de excitación separada; P = Potencia motor; M = Par motor; N = Velocidad de giro del motor.

A partir del desarrollo de los tiristores la situación ha cambiado sensiblemente. En la actualidad se utiliza, casi exclusivamente, la conexión de excitación independiente.

Como se ha indicado anteriormente, se distinguen dos zonas de funcionamiento (figura 25). En la primera zona la intensidad de excitación se mantiene constante e igual a la nominal del motor (se entiende por nominal el valor que tendría este parámetro en condiciones de funcionamiento normal, no en el vehículo). Con ello se consigue un par constante e igual al nominal del motor. La velocidad se aumenta aumentando la tensión del circuito de armadura.

Cuando la tensión aplicada alcanza su valor nominal ésta se mantiene constante, pasando a trabajar en la segunda zona de funcionamiento donde se reduce la corriente de campo. La velocidad sigue aumentando linealmente, la potencia se mantiene constante y el par disminuye hiperbólicamente.



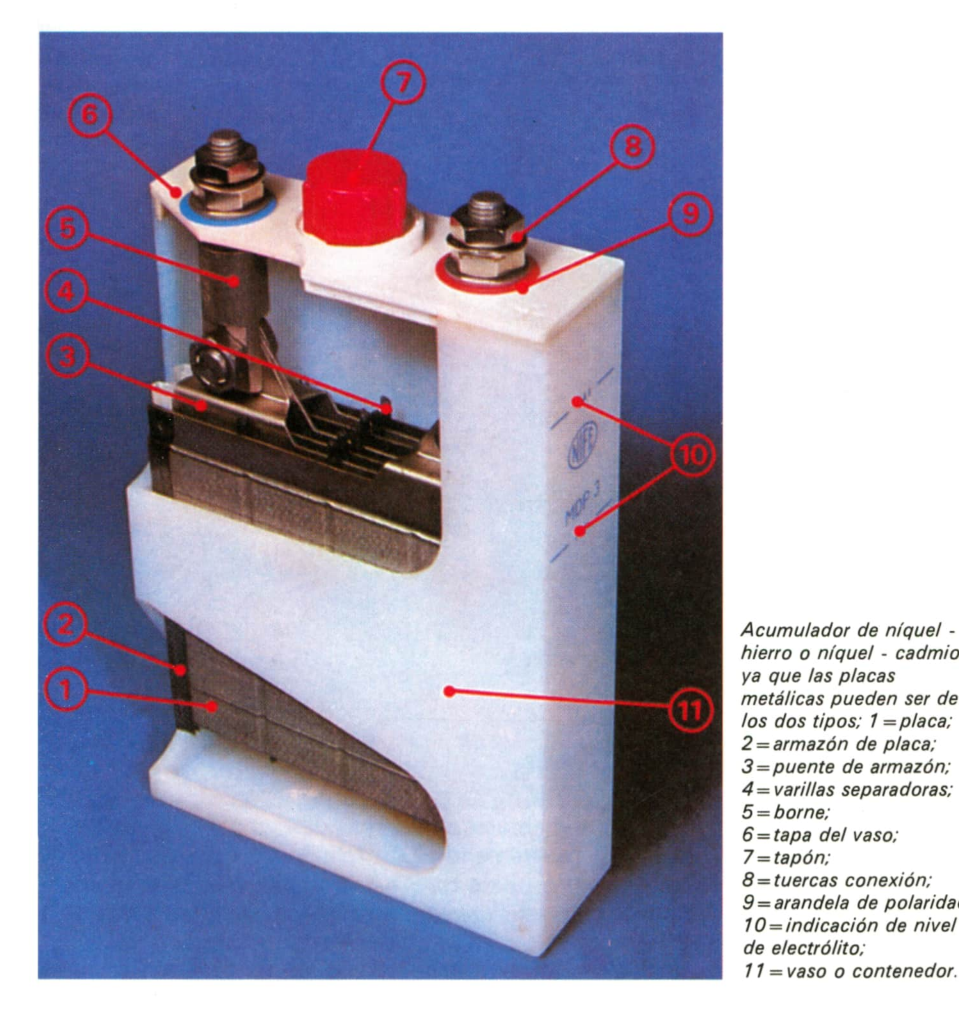
Vehículo eléctrico utilizado para el servicio postal. Resulta de gran utilidad en el reparto del correo en amplias zonas, tanto rurales como urbanas.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

El motor de corriente alterna de inducción es la máquina eléctrica giratoria más ampliamente usada. Esta popularidad es debida a que se trata de un motor sencillo desde el punto de vista mecánico. La sencillez de su constitución lo hace sumamente robusto y adaptable a distintos accionamientos.

La máquina de inducción del tipo *jaula de ardilla* o rotor de cortocircuito, tiene un bobinado estatórico excitado por una fuente de corriente alterna externa. El rotor es una especie de jaula de ardilla (de aquí su nombre) con los conductores embebidos en el acero.

En una máquina de inducción, para obtener una variación de velocidad, debe variarse la frecuencia de la corriente de alimentación.

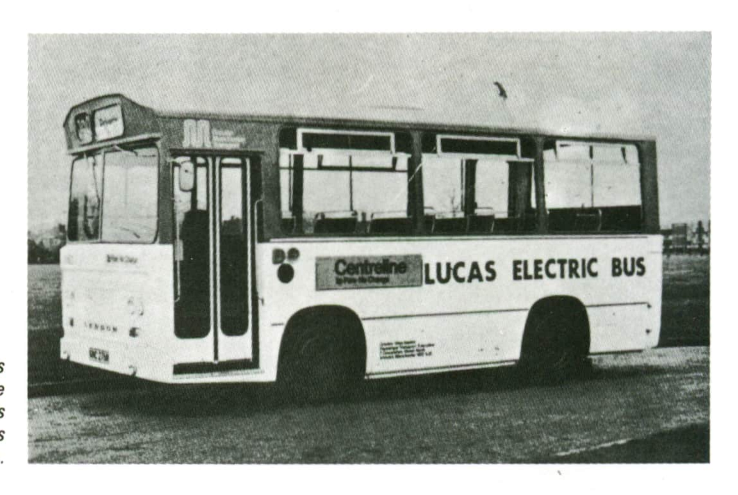


Acumulador de níquel - hierro o níquel - cadmio, ya que las placas metálicas pueden ser de los dos tipos; 1 = placa; 2 = armazón de placa; 3 = puente de armazón; 4 = varillas separadoras; 5 = borne; 6 = tapa del vaso; 7 = tapón; 8 = tuercas conexión; 9 = arandela de polaridad; 10 = indicación de nivel de electrólito; 11 = vaso o contenedor.

Para obtener una velocidad regulable entre cero y la máxima deseada se debe variar la frecuencia entre cero y la máxima, para lo cual se obtiene la máxima velocidad de sincronismo deseada.

La relación entre el par y la velocidad para las aplicaciones de tracción en vehículos eléctricos, es la misma que ya se ha explicado para el motor de excitación independiente; posee una zona de trabajo a *par constante* y una segunda zona a *potencia constante.*

En el motor de inducción, la operación a potencia constante se obtiene manteniendo constante la tensión aplicada y variando la frecuencia de esta tensión de alimentación. Este modo de operación se conoce también como operación a tensión constante.



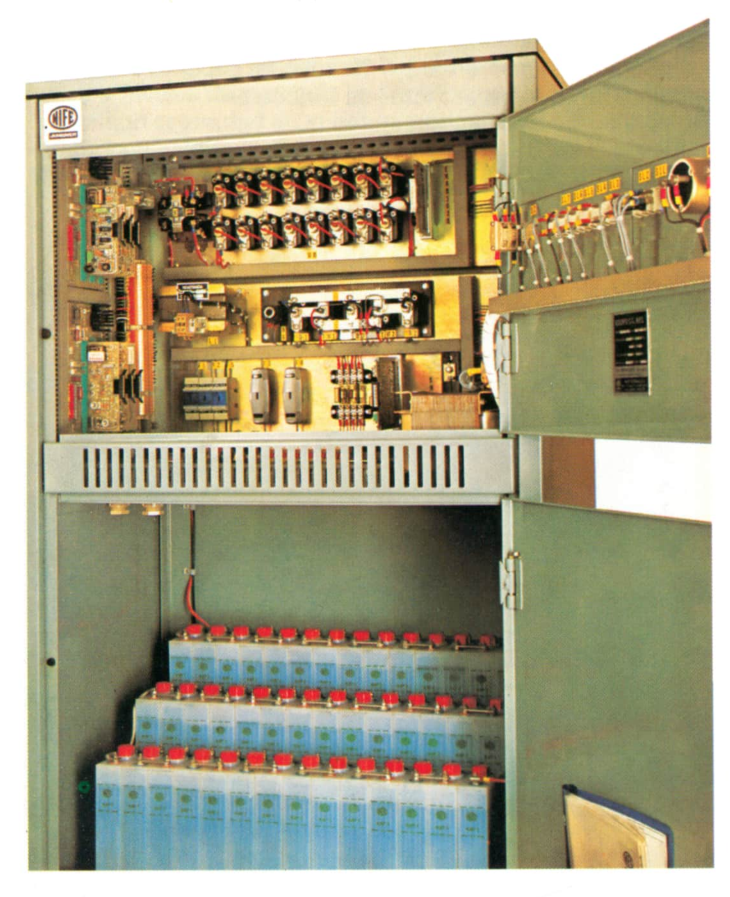
Gran Bretaña es el país con el mayor parque de vehículos eléctricos; más de 60.000 unidades actualmente en servicio.

En la zona de funcionamiento a par constante, éste se consigue manteniendo constante el flujo del campo magnético en el entrehierro del motor, para conseguirlo no basta con la variación de la frecuencia, debe variarse también la tensión de alimentación y además de forma proporcional a la frecuencia, manteniendo una relación constante (relación V/Hz constante). Bajo estas condiciones el flujo es constante a la vez que el par y el modo de operación es conocido como operación a flujo constante.

Dado que el motor de inducción requiere corriente alterna

y la batería suministra corriente continua, se encarga a la unidad de control de esta conversión y de la variación de la frecuencia y tensión según sea preciso.

En este punto podemos establecer una comparación entre la máquina de inducción y la de corriente continua.



Sistema cargador de baterías, que puede utilizarse tanto en equipos fijos como para reponer energía de las baterías que emplean los equipos móviles.
(Cortesía: Nife).

En las máquinas de corriente continua existen una serie de elementos externos que no intervienen directamente en la generación de potencia de la máquina y que representan un peso suplementario, estos elementos son: el colector, las

escobillas y los polos de conmutación. La máquina de inducción no posee ningún elemento externo, dando por tanto una mejor relación peso/potencia que sus homólogos de corriente continua.

Estos mismos elementos externos de la máquina de continua representan una fuente de pérdidas, a causa de la caída de tensión que se produce entre las escobillas y el colector; estas pérdidas son constantes para cada potencia y se pueden estimar en un 4 %, lo que supone un menor rendimiento que en el motor de inducción.



Prototipo de vehículo eléctrico empleado como taxi, y que ha sido desarrollado por la firma británica Lucas.

Económicamente la máquina de inducción es más barata que la de corriente continua, puesto que ésta se encarece en los elementos auxiliares mencionados.

Por último, las máquinas de corriente continua requieren revisiones constantes de sus partes rozantes (colector y escobillas) no existiendo este problema en las de corriente alterna.

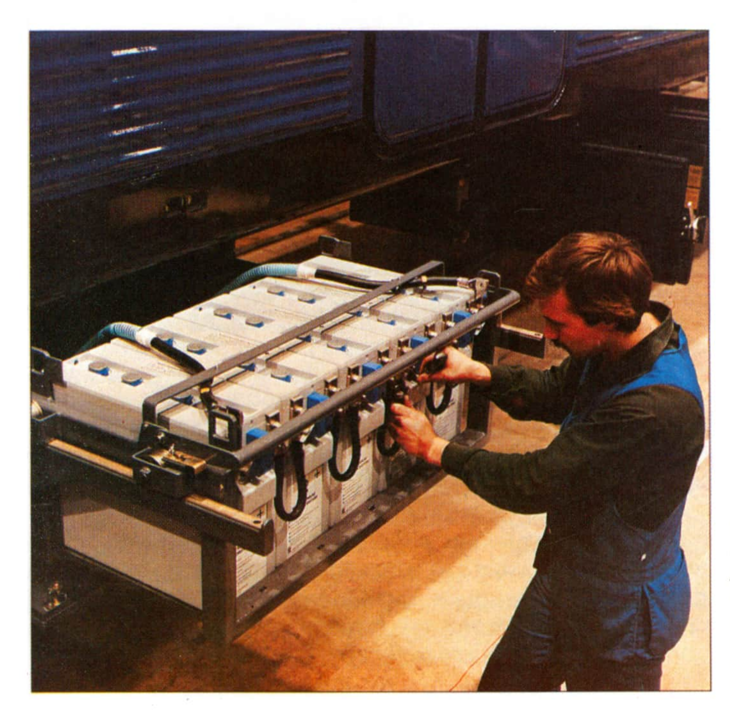
SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD EN VEHICULOS ELECTRICOS

El concepto básico en la propulsión de un vehículo

eléctrico es bien conocido: la variación de la excitación de un motor eléctrico en concordancia con el desplazamiento del pedal acelerador accionado por el conductor del vehículo.

Si la potencia requerida fuera muy pequeña (fracciones de vatio), sería muy sencillo desarrollar este concepto usando un amplificador lineal conectado en cascada entre el potenciómetro (accionado por el pedal acelerador) y uno o más bobinados del motor.

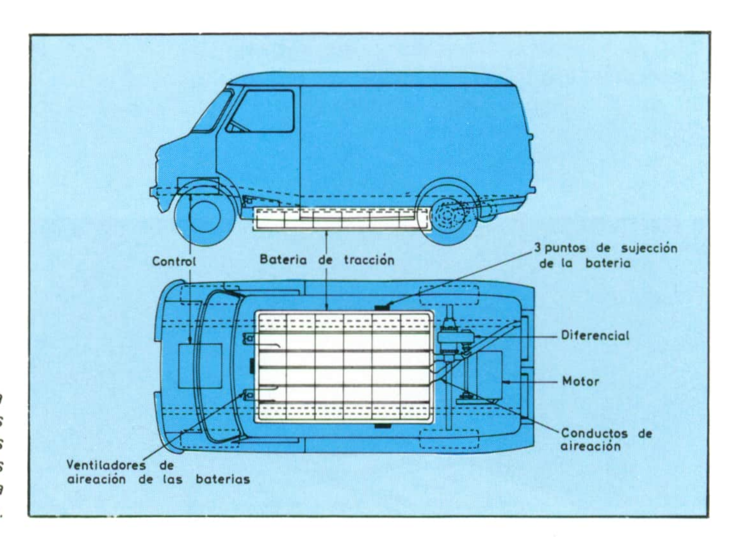
A los niveles de potencia requeridos en un vehículo para operar con seguridad en el tráfico normal, esta aproximación es impracticable. Las pérdidas en el amplificador serían intolerables y el diseño del mismo muy dificultoso, dada la inexistencia de simples componentes electrónicos capaces de manejar los niveles de potencia requeridos. Comúnmente, en la práctica se sustituye el amplificador lineal por alguna forma de conmutación.



Conjunto de baterías de níquel-hierro, preparado para alojarse en un armazón de gran robustez que le permita su incorporación en vehículos eléctricos o de tracción.

Aparte de la decisión sobre el motor a emplear, debe decidirse qué tipo de conmutación se utilizará para controlar la excitación del motor. Por ejemplo, se puede usar la conmutación para seleccionar una de varias tensiones fijas de la batería o tener una sola tensión de la batería y conmutar con diversas resistencias conectadas en serie entre la batería y uno o más de los devanados del motor.

Otra alternativa es usar una conmutación de alta frecuencia, es decir muy rápida, para transferir la energía en paquetes o pulsos desde la batería, de tensión fija, a los devanados del motor.

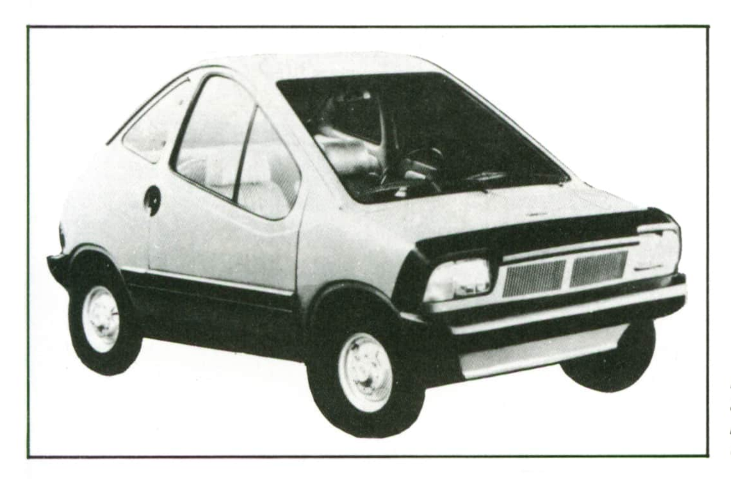


Disposición esquemática de los elementos principales de los vehículos eléctricos desarrollados por la firma Lucas.

La mayor ventaja de este sistema sobre el precedente es que las pérdidas en los elementos conectados entre la batería y el motor es muy pequeña y, por tanto, se obtiene un incremento sustancial de la eficacia del sistema.

Además del propósito general del sistema de propulsión, que estriba en permitir al conductor acelerar el vehículo y mantener la velocidad deseada, el control puede ser diseñado para recuperar hacia la batería parte de la energía cinética del vehículo en movimiento, por un proceso conocido como frenado regenerativo, cuando es decelerado. Este sistema de frenado es fácilmente adaptable a determi-

nados tipos de control, en otras es muy dificultoso cuando no imposible. El valor de la recuperación de energía mediante el frenado regenerativo, depende significativamente de las condiciones de conducción y de la velocidad que se mantiene durante la misma, debiendo sopesarse estos factores para determinar si el valor de la recuperación es económicamente rentable frente al coste de la implantación del dicho frenado.



Prototipo experimental de automóvil eléctrico realizado por Fiat. Se trata del modelo X1/23.

Por tanto, los requerimientos para el control de velocidad en un vehículo eléctrico pueden resumirse como sigue:

a) Para obtener un uso óptimo de la energía almacenada en la batería, la conversión de ésta desde la batería hasta las ruedas motrices, debe realizarse de la forma más eficiente posible.

b) Para que el conductor posea un dominio seguro del vehículo el funcionamiento del control debe ser fino y fiable.

c) Si el sistema de control puede transferir energía en sentido inverso (hacia la batería), gran parte de la energía mecánica, que de otra manera se disipa en forma de calor en los frenos, puede ser recuperada aumentando la autonomía del vehículo.

d) El sistema de control debe estar protegido contra fallos, en el sentido de que un fallo en el sistema de conmutación

no cause una transferencia brusca de gran cantidad de potencia desde la batería a las ruedas motrices.

e) Finalmente, el coste total del sistema, incluyendo la fabricación y el mantenimiento, debe ser compatible con las prestaciones obtenidas.



Furgoneta eléctrica Fiat modelo 242. En las fotografías se aprecia la curiosa disposición de las baterías en las paredes laterales del furgón.

Los antiguos sistemas de control comprendían el uso de controladores resistivos o de sistemas electromecánicos de conmutación para los vehículos de corriente continua y de sistemas convertidores, también electromecánicos en los vehículos de corriente alterna.

Con el advenimiento de los tiristores y de los transistores de potencia, es posible el diseño de sistemas de conmutación y de convertidores que permiten una regulación de tensión y/o frecuencia extremadamente fina, progresiva y sin pérdidas.

El siguiente paso ha sido la incorporación de la microelectrónica en el control de los vehículos eléctricos; mediante el uso de microprocesadores, conversores analógicos/digitales, comparadores, etc., se consiguen complicados programas de control y una optimización del punto de funcionamiento del sistema en cada momento, al mismo tiempo que se vigila el estado del sistema, aumentando su seguridad y fiabilidad, todo ello sin incrementar apenas el coste del equipo, dado lo económicos que resultan estos componentes.

De entre todas las posibilidades (motores y control) expuestas, sólo dos presentan un alto nivel de prestaciones:



Furgoneta eléctrica realizada por la empresa española de acumuladores Tudor.

el motor de corriente continua de excitación independiente, controlado, tanto por campo como por armadura, mediante sendos troceadores electrónicos bien a base de transistores o de tiristores, y el motor de corriente alterna de inducción de jaula de ardilla, controlado mediante un ondulador (convertidor continua/alterna) a base de tiristores o también de transistores. Ambos sistemas incorporan el gobierno digital mediante microprocesador.

Aunque todo el equipo electrónico de control (potencia y digital) supone un aumento de la complejidad del sistema, los estudios más recientes demuestran que ambos sistemas son los que ofrecen el mejor rendimiento y las mejores prestaciones, destacándose significativamente sobre otro tipo de soluciones y presentándose como las dos técnicas de interés de desarrollo futuro.



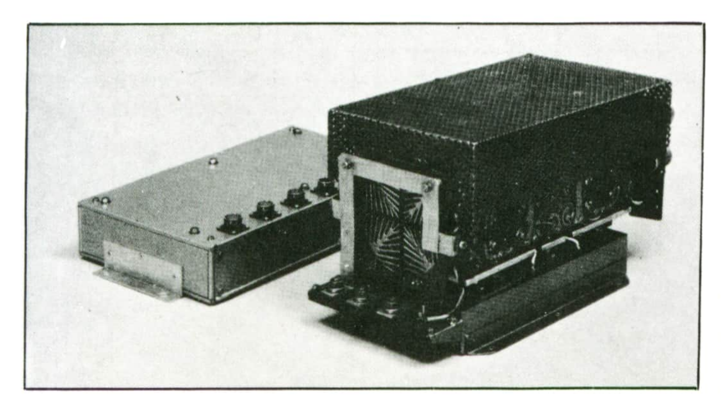
Vehículo Rover Sherpa Electric que es frecuente ver circulando por las carreteras de Gran Bretaña.

Equipo de control del motor CC de excitación independiente

Según se ha detallado anteriormente, el control de la velocidad en un motor de excitación independiente se conseguía en dos etapas. En la primera se mantenía la

corriente de excitación constante e igual a la nominal, mientras se variaba la tensión de la armadura desde cero a su valor nominal, valor para el cual se consigue la llamada velocidad base.

En la segunda etapa, se mantenía el valor de la tensión de armadura constante e igual a la nominal, mientras se hacía disminuir la corriente de excitación hasta alcanzar la velocidad máxima del motor.



Troceador a transistores, empleado en el prototipo Fiat X1/23. A la izquierda de la fotografía puede apreciarse el control electrónico de la unidad.

Para conseguir la variación de la tensión de la armadura y la variación de la corriente de excitación (que equivale a variar la tensión aplicada al devanado de campo), se disponen dos *troceadores* (choppers en la nomenclatura anglosajona), denominados por extensión troceador de campo y troceador de armadura. En esencia un troceador no es más que un interruptor de estado sólido (bien un tiristor o bien un transistor). Cuando este interruptor electrónico se halla cerrado, toda la tensión de la fuente de alimentación es aplicada a la carga. Cuando el interruptor está abierto, la carga queda desconectada de la fuente de alimentación. Por tanto, la tensión en bornes de la carga es, alternativamente, cero voltios y la tensión de la fuente de alimentación. De acuerdo con esto, la tensión promedio en la carga es menor que la tensión de alimentación.

La tensión promedio aplicada a la carga puede ser controlada finamente desde cero voltios hasta la tensión de alimentación, controlando los intervalos de tiempo en que el interruptor está abierto o cerrado.

En la figura 38 puede verse un diagrama detallado de un troceador a tiristores; en él la carga está representada por una bobina L, que es equivalente a cualquiera de los devanados del motor (campo o armadura).

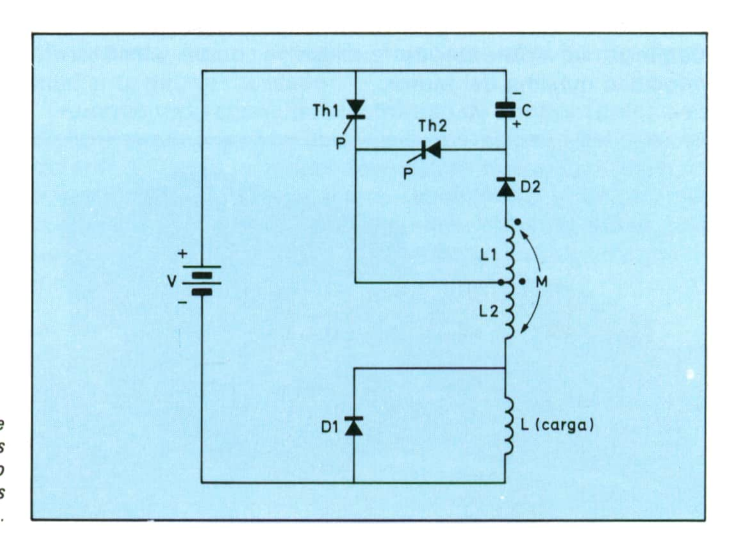


Figura 38. Diagrama de un troceador con diodos controlados de silicio (SCR). Se emplean dos tiristores, Th_1 y Th_2.

Las dos inductancias L_1 y L_2 están acopladas mutuamente y funcionan como un autotransformador. Este elemento magnético opera en conjunción con el condensador C, el diodo D_2 y el tiristor Th_2 para forzar la conmutación al estado de conducción del tiristor principal Th_1. Esto es debido al funcionamiento particular de los tiristores que, en esencia, son unos diodos controlados. Mediante unos impulsos de control en el terminal de puerta (P en el gráfico), se fuerza al tiristor a pasar al estado de conducción, pero el proceso inverso requiere, además del cese de los impulsos de control, una tensión inversa en bornes del tiristor, así se consigue la conmutación del estado de conducción al de no conducción, o de bloqueo.

Inicialmente el tiristor principal se halla en estado de conducción y en el circuito no existe energía almacenada, ni en la bobina ni en el condensador. En este estado la corriente atraviesa por Th_1, L_2 y la bobina de carga L. El condensador a su vez, se carga con la polaridad indicada en la figura como

efecto del acoplamiento entre L_2 y L_1. Para conmutar Th_1 al estado de conducción se pone en estado de conducción el tiristor auxiliar Th_2. Esto provoca la descarga del condensador C y fuerza la conmutación del tiristor principal, dada la tensión inversa a la que se ve sometido. El condensador prosigue su descarga hasta una tensión nula en sus bornes, instante en el que inicia la carga, pero con la polaridad inversa. Cuando la corriente de carga del condensador es aproximadamente cero, Th_2 deja de conducir. De nuevo se descarga el condensador C a través de la batería, D_1, L_2, L_1 y D_2. Esta descarga continúa hasta que el diodo D_2 queda polarizado inversamente, instante en que el tiristor principal inicia nuevamente la conducción repitiéndose el ciclo.



Vehículo eléctrico de la firma Leyland. Su empleo se centra principalmente en el reparto de leche y otros artículos a domicilio. Tiene la ventaja de no contaminar las ciudades.

Como se ha indicado anteriormente, el peso de los circuitos de control recae sobre el *microprocesador*. Este toma del sistema dos informaciones básicas entre otras: la posición del acelerador y la velocidad de rotación del motor.

La posición del acelerador indica la velocidad deseada por el conductor. Esta posición se determina a partir de la tensión generada por el potenciómetro de precisión, al que se halla acoplado el pedal acelerador. El microprocesador no

sólo interpreta la posición instantánea sino también la variación de la posición con respecto al tiempo, comparándola con la última lectura efectuada de dicha posición. De esta manera el microprocesador no sólo interpreta la velocidad deseada, interpreta asimismo la rapidez con que se requiere esta velocidad. Por ejemplo, supóngase que el coche se halla parado y se presiona el pedal acelerador a fondo, en esta situación el microprocesador interpreta que se requiere la máxima velocidad en el menor tiempo posible, dando como resultado una serie de órdenes al sistema de forma que el vehículo adquiera esta velocidad de manera rápida y progresiva y siempre dentro de los límites físicos del sistema.

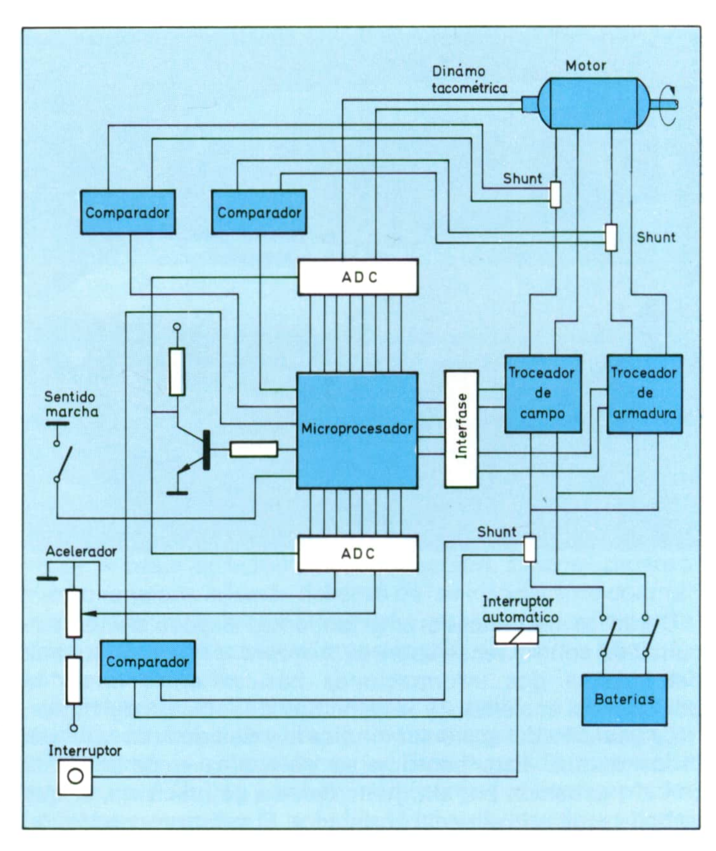


Diagrama de bloques del equipo o sistema de control de un vehículo eléctrico con motor de excitación separada.

Dado que la señal generada por el potenciómetro del acelerador es una tensión analógica, se requiere un conversor analógico/digital que convierta esta señal analógica en una señal digital, comprensible por el microprocesador.

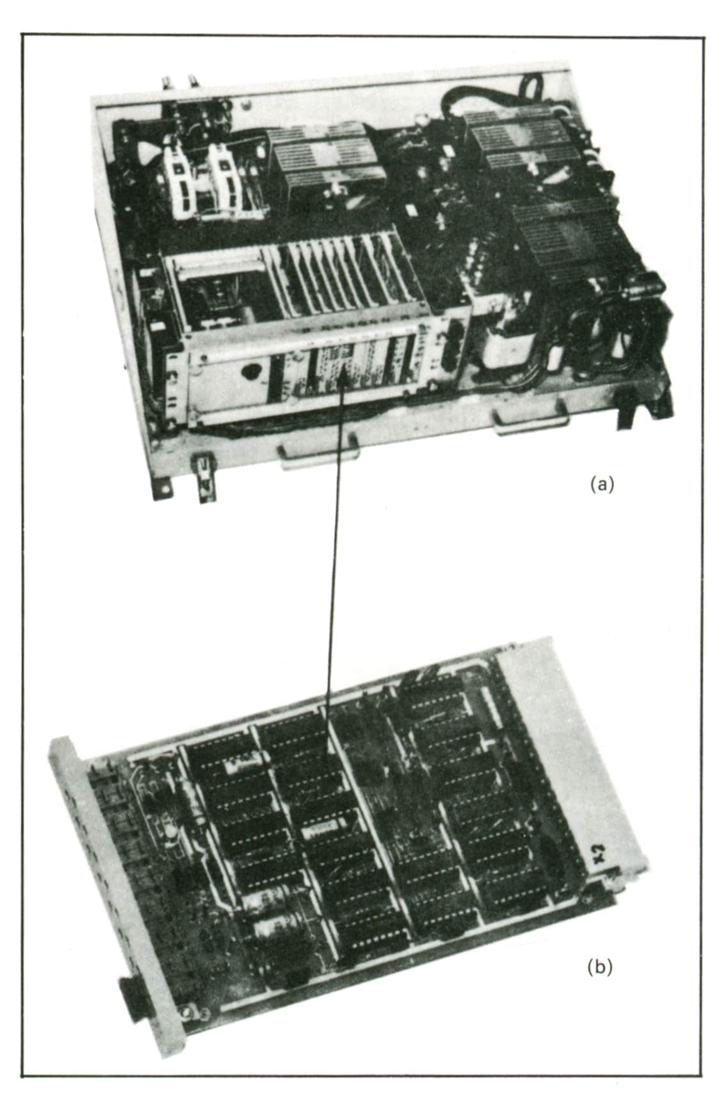
La velocidad de giro del motor se obtiene mediante un tacogenerador acoplado al motor. El tacogenerador suministra una tensión proporcional a las r.p.m. del motor; esta tensión analógica es convertida a digital por medio de un segundo conversor analógico-digital.



Furgoneta con tracción eléctrica M & M Majestic, utilizada por el Servicio de Correos de Suecia.

Mediante estas dos señales digitales, la del acelerador y la velocidad de giro del motor, el microprocesador determina si se debe acelerar o frenar mediante la comparación de la velocidad deseada (posición del acelerador) y la velocidad real (señal del tacogenerador). La comparación se efectúa restando ambas señales digitales, de forma que si el signo es positivo (velocidad deseada > velocidad real) acelerará y si el signo es negativo (velocidad deseada < velocidad real) frenará.

El microprocesador al mismo tiempo toma información de la intensidad suministrada por la batería y de la corriente de alimentación del motor, tanto en el circuito de armadura



a) Unidad de control para un vehículo con motor de corriente continua de excitación independiente. En esta unidad se hallan alojados los dos troceadores y el gobierno electrónico por microprocesador; b) En la fotografía inferior se aprecia una de las tarjetas del módulo de gobierno electrónico.

como en el de campo, vigilando que no sobrepasen el límite prefijado, evitando así la posible destrucción del equipo de control.

Este sistema de control admite el frenado regenerativo. Ello supone una modificación importante del troceador de

armadura y del programa de control para permitir la conmutación de dicho troceador y posibilitar la circulación de corriente en sentido inverso. Con este sistema sólo se obtiene recuperación de energía por debajo de la velocidad base del motor.

Equipo de control del motor de inducción

Según lo expuesto en apartados anteriores, la variación de velocidad, al usar un motor de inducción, se consigue variando la frecuencia de la tensión de alimentación del motor.

Esta variación se realiza bajo unos criterios prefijados que son: una primera zona de funcionamiento a flujo constante, que se logra mediante la variación de la tensión y la frecuencia de alimentación del motor, manteniéndose una relación proporcional constante entre ambos parámetros; y una segunda zona de funcionamiento a potencia constante, donde únicamente es variada la frecuencia de alimentación.



Los coches de lujo aceptan perfectamente las nuevas tecnologías, y la tracción eléctrica es una de las que presentan mayor interés en los próximos años.

La variación de la frecuencia es obtenida mediante el uso de un ondulador o inversor, que a la vez genera la corriente alterna trifásica, precisa para la alimentación del motor.

La variación de la tensión en la primera zona de funcionamiento, necesaria para no saturar magnéticamente el motor y evitar las pérdidas por histéresis, puede obtenerse de varias formas.

Los primeros diseños intercalaban entre la batería y el ondulador un troceador (como los descritos anteriormente), obteniéndose así la tensión promedio necesaria. Esto

suponía complicar en exceso el equipo electrónico, a la vez que se aumentaba el peso y el coste y se reducía el rendimiento.

Con el uso de los microprocesadores en el equipo de control es posible la obtención de la tensión necesaria directamente del ondulador, sin necesidad de disponer el troceador adicional, mediante el uso de la técnica de Modulación de la Anchura de Pulsos o técnica PWM (de las siglas inglesas Pulse Width Modulation).

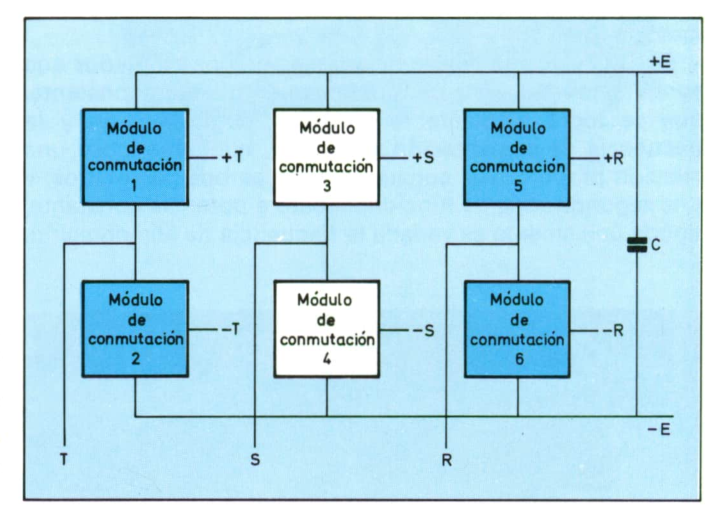


Figura 44. Diagrama de bloques del ondulador; +R, −R, +S, −S, +T y −T, son las entradas de las señales de gobierno del ondulador; R, S y T las fases de alimentación del motor.

Esta técnica PWM obliga al *ondulador* a trabajar a la vez como troceador y como ondulador, de forma que la tensión en cada semiperíodo es troceada al igual que en un troceador convencional, obteniéndose una tensión media proporcional a los tiempos en que el troceador conduce. Al igual que un troceador, el incremento o disminución de estos tiempos proporciona una tensión promedio mayor o menor, respectivamente. Este proceso requiere gran celeridad de cálculo, dado que se realiza para cada semiperíodo, tanto positivo como negativo, y a la vez que se varía la frecuencia de la tensión de alimentación, lo que produce semiperíodos variables de un instante a otro, de ahí la necesidad del uso del microprocesador.

En esencia el ondulador consta de seis módulos de conmutación, dos por fase (uno realiza el semiperíodo positivo y el otro el negativo), siendo el funcionamiento de cada módulo análogo al de un troceador, pudiendo estar constituido el módulo bien por tiristores, bien por transistores.

El diagrama de bloques del ondulador completo se ilustra en la figura 44.

El funcionamiento del dispositivo es el siguiente: una señal de control en la línea +R fuerza la conmutación del módulo y la fase R toma el valor de tensión +E; otra señal de control en la línea −R forzará la conmutación y la fase R pasará a tomar el valor de tensión −E. La suma de las tensiones de fase simples R, S y T nos dará las tres tensiones compuestas que alimentan al motor; la forma de onda de estas tensiones se muestra en la figura 45.

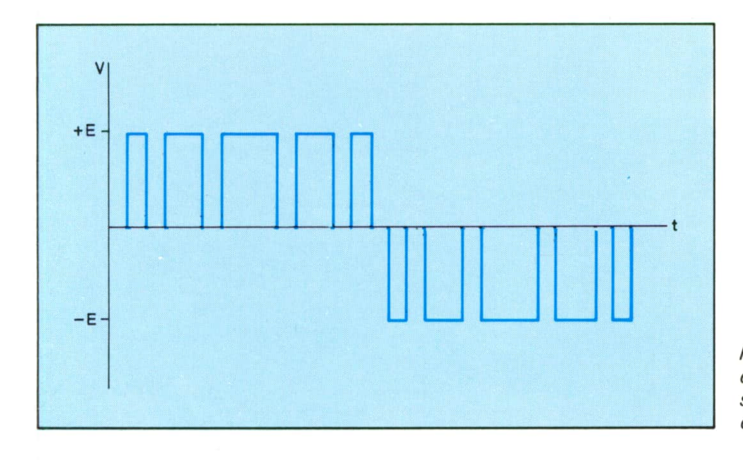


Figura 45. Forma de onda de una fase tomada a la salida del circuito ondulador.

El microprocesador, verdadero controlador del sistema, realiza las mismas funciones que el explicado para el sistema de corriente contínua.

Compara los valores de la velocidad deseada por el conductor y de la velocidad real del motor, acelerando o frenando según sea positivo o negativo el resultado de esta comparación. No obstante, para el motor de inducción se aplica un nuevo criterio de control: mantener la frecuencia de deslizamiento constante.

La frecuencia de deslizamiento es la diferencia entre la frecuencia aplicada al motor y la frecuencia de giro real de éste. Si la frecuencia de deslizamiento se mantiene constante, se consigue que el motor opere siempre con el máximo par proporcionable en cada momento, de forma que se aumenta la capacidad de aceleración y las prestaciones generales del vehículo.

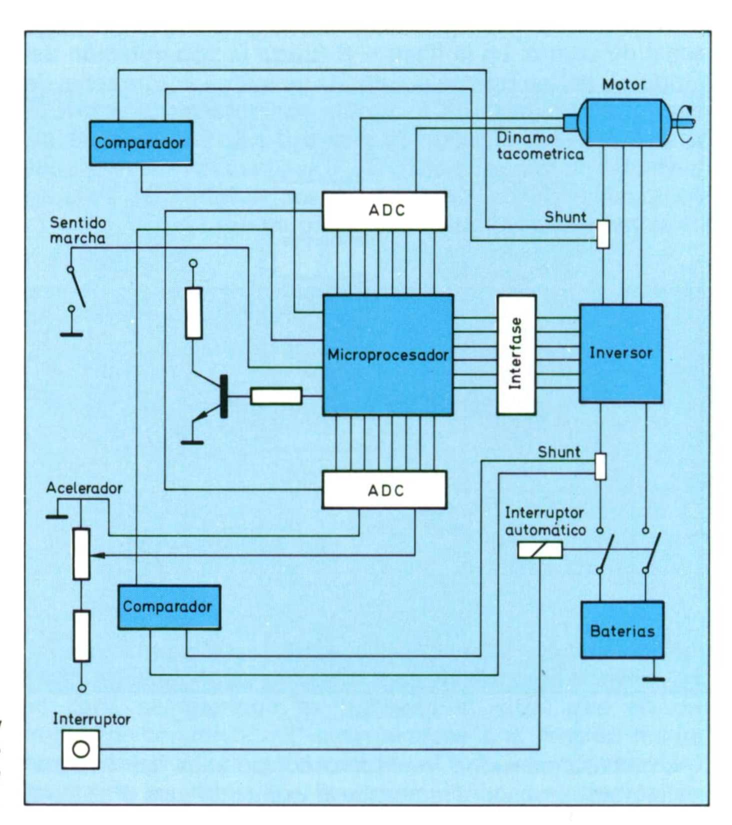
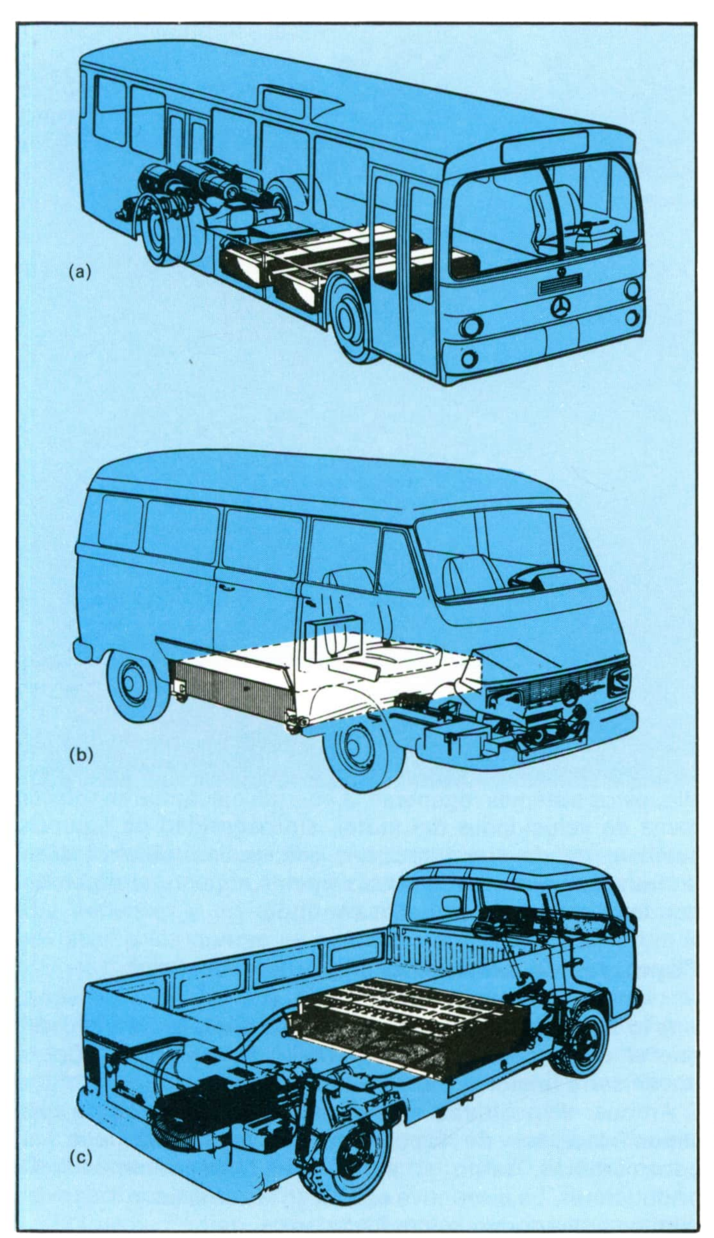
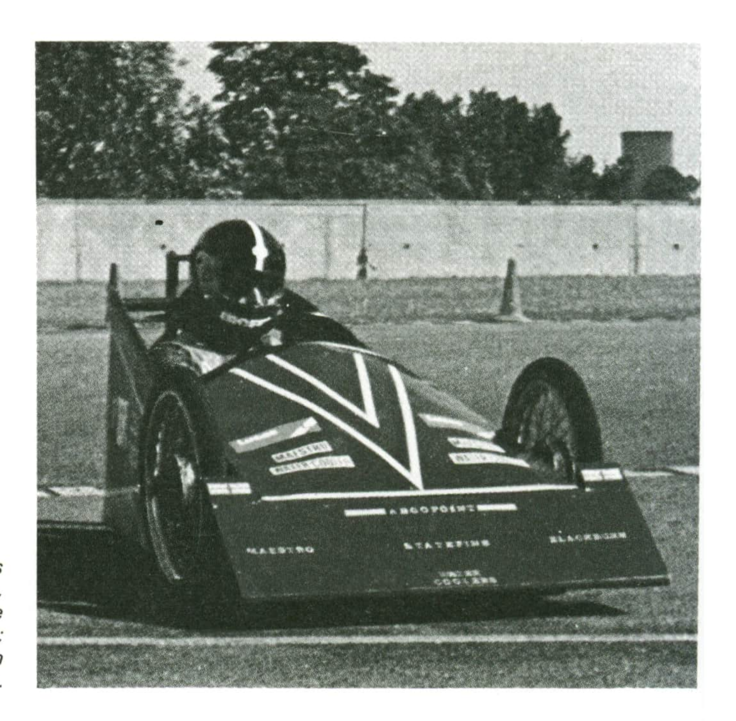


Diagrama de bloques del equipo electrónico de control de un sistema con motor de inducción.

El microprocesador realiza además todos los cálculos y envía las órdenes precisas al ondulador cuando aplica la técnica de PWM en la primera zona de funcionamiento. El resto de funciones de vigilancia y de control son las mismas que para el sistema de corriente continua.



Diversas disposiciones empleadas para alojar las baterías en los vehículos eléctricos:
a) autocar;
b) vehículo ligero para el transporte de viajeros;
c) camión.



Los vehículos eléctricos utilizados en sitios llanos, pueden adoptar formas de menor resistencia al aire; así como la disposición con tres ruedas.

Los onduladores son dispositivos bidireccionales, por lo que permiten el trasiego de energía en ambos sentidos y, por ello, estos sistemas regeneran la energía mecánica en toda la gama de velocidades del motor, sin necesidad de equipos auxiliares ni de conmutaciones adicionales, obteniéndose un frenado regenerativo sensiblemente superior al obtenido con los equipos de corriente continua.

Comparación entre tiristores y transistores

A lo largo del desarrollo de la exposición se ha indicado que el interruptor de estado sólido de los controladores puede ser a tiristores o bien a transistores.

Ambos dispositivos cumplen perfectamente con las especificaciones de funcionamiento requeridas por los controladores, tanto si son troceadores como si son onduladores. La disyuntiva estriba en las ventajas e inconvenientes que aportan estos dispositivos.

Por el momento se prefieren los tiristores, dado que éstos son capaces de manejar potencias superiores a las que soportan los transistores a la vez que su diseño mecánico permite el uso de refrigerantes líquidos. Por el contrario requieren una circuitería auxiliar de gobierno compleja así como bobinas y condensadores especiales para la conmutación, aumentando el peso y el volumen del control a la vez que se incrementa su coste.



Los cargadores portátiles de baterías, de uso frecuente en talleres, no son adecuados para la carga del grupo de baterías de un automóvil eléctrico; aunque ambos sistemas de carga se basan en el mismo principio y circuitería electrónica, los grupos de baterías para coches eléctricos precisan sistemas más complejos y de una mayor potencia, a fin de conseguir cargas en poco tiempo; generalmente se recurre a sistemas trifásicos.

Los transistores no requieren ningún elemento especial para la conmutación, tan sólo el circuito de ataque de la base del transistor y un diodo volante que evite las tensiones inversas a las que se ve sometido al trabajar conmutando cargas inductivas, como son las de los motores eléctricos. En general, dada la baja potencia que pueden manejar, se utilizan montajes de varios transistores en paralelo en lugar de un conmutador único, presentándose problemas de retrasos en la conmutación entre los diversos transistores que constituyen un bloque conmutador.

Los transistores presentan, además, la ventaja de su alta frecuencia de conmutación, del orden de 20 kHz frente a 1 kHz de los tiristores.

Actualmente han aparecido transistores de alta potencia

que han sido utilizados con excelentes resultados en algunos prototipos experimentales, pero por el momento estos dispositivos son difíciles de obtener y su coste es todavía algo elevado.



Cambio de baterías en una camioneta de reparto de periódicos, diseñada por la compañía Lucas.

En los próximos años se espera que aumente la gama de potencias disponibles, el número de fabricantes que los ofrezcan, así como una sustancial reducción de su precio, dando como resultado la sustitución de los tiristores por los transistores en aplicaciones de control en vehículos eléctricos. De ello se obtendrán controles más compactos, fiables, de mayores prestaciones y más económicos que los actuales controles, basados casi únicamente en el tiristor.

CRITERIOS DE EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE TRACCION

Los criterios para realizar la evaluación de un sistema de tracción eléctrico se deben basar en los siguientes puntos: economía, seguridad, controlabilidad y prestaciones.



Las ciudades exigen vehículos que ocupen poco espacio y con un bajo índice de contaminación. Prototipo de coche eléctrico utilitario.

Dentro del capítulo económico es necesario analizar el coste del grupo de tracción, motor más dispositivos de control, el rendimiento y el mantenimiento requerido.

El coste de los motores de corriente continua es mucho mayor que el de un motor de inducción de la misma



Otro dispositivo para el cambio de baterías en un automóvil eléctrico. Este va destinado a las furgonetas tipo VW de Mercedes Benz.

potencia. El equipo de control equilibra la balanza con diferencias mínimas entre ambos sistemas. A menudo se ha maximizado el coste del ondulador respecto al troceador equivalente. Pero debe tenerse presente que los sistemas de corriente continua precisan dos troceadores y uno de ellos debe ser bidireccional, para obtener frenado regenerativo.

El rendimiento dinámico del motor de corriente alterna es superior al de continua, debido a su menor inercia y a la ausencia de la caída de tensión de las escobillas. Contrariamente, el ondulador tiene un rendimiento algo inferior al troceador equivalente. El rendimiento neto total es favorable a los sistemas de corriente alterna.



Este coche eléctrico es capaz de alcanzar una velocidad de hasta 90 km/h, con un motor de 18 a 32 kW y un grupo de baterías de 144 V y 125 Ah.

En el aspecto del mantenimiento, es indiscutible la superioridad de coste de los sistemas de corriente continua, dado que los motores de inducción no poseen partes descubiertas, son más robustos y sin partes giratorias rozantes.

En el capítulo de la seguridad, los troceadores presentan el peligro de aplicar bruscamente toda la tensión de la batería al motor por cortocircuito del elemento de conmutación. En este supuesto, el vehículo sería incontrolable, precisando disponer de circuitería adicional de seguridad en el accionamiento de continua.

También en los sistemas de corriente continua la descone-

xión fortuita del circuito de campo provocaría un embalamiento del motor, que traería como consecuencia su destrucción. Es necesario incluir un control de sobrevelocidad mecánico o electrónico para evitarlo.

Si bien se pueden proveer medios adicionales de seguridad, el motor de corriente continua, junto con su control, presenta puntos de funcionamiento inestables. Esto no ocurre con los accionamientos de corriente alterna.

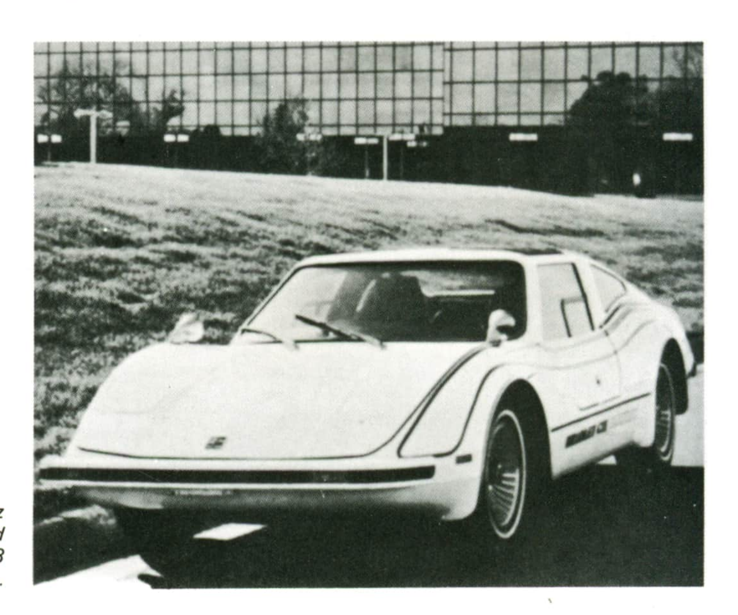


Camión volquete que extrae toda su energía de las baterías eléctricas incorporadas en los laterales, aprovechando el espacio que queda entre las ruedas delanteras y traseras.

Por el contrario, éstos incluyen condensadores de gran capacidad funcionando en conmutación, lo que supone tensiones del doble de la nominal de la batería en sus bornes. Una vez desconectado el equipo pueden quedar cargados, debiendo disponerse resistencias de descarga. Asimismo, deben quedar encerrados en contenedores de material aislante, puesto que un accidente podría poner en contacto los bornes de los condensadores con partes metálicas del vehículo, descargándose a través de ellas.

En el capítulo de la controlabilidad y con la tecnología actual no existen diferencias entre el control de un ondulador o el control de dos troceadores. En ambos casos se pueden utilizar técnicas de control digitales, de forma que únicamente el programa de control presentará diferencias.

En cuanto a las prestaciones y según lo expuesto a lo largo de estas páginas, el motor de continua es más pesado y voluminoso y de menor rendimiento. Los equipos de control difieren poco en cuanto a las prestaciones, siendo los onduladores los más pesados. El resultado es una gran equivalencia entre ambos sistemas, pero los motores de inducción presentan mayor capacidad para alcanzar velocidades superiores, a la vez que su característica de velocidad dura proporciona mayor estabilidad ante las variaciones de carga y una mayor capacidad de aceleración.



Vehículo eléctrico capaz de alcanzar una velocidad de 54 km/h en sólo 8 segundos.

ALGUNAS REALIZACIONES CONCRETAS

A continuación se detallan algunas realizaciones comerciales de vehículos eléctricos. Estos vehículos han pasado de la primera etapa de prototipo a la de fabricación seriada y están disponibles para su compra.

En esta relación se muestran algunas de las características importantes de los vehículos eléctricos: tipo de motor y control, pesos, tipos de baterías, así como el nombre del vehículo, país de origen y uso al que se destina.

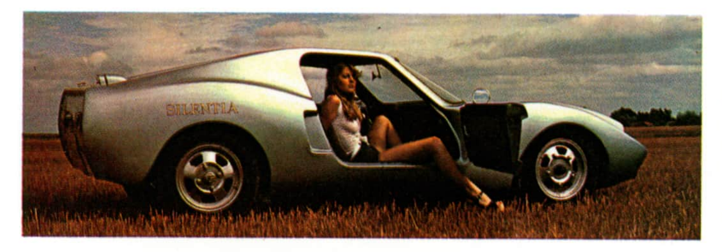
Nombre del vehículo: AM General DJ-5E (EE.UU.)

Características del motor:

— Tipo: DC excitación mixta.
— Peso: 263 lbs.
— Potencia: 25 h.p.

Características del control:

— Tipo: Funciones integradas en el control:
Regulación de la velocidad del motor
Regulador de carga de la batería.
Sensores de detección del estado y carga de la batería.
— Peso: 100 lbs.



Las formas aerodinámicas de los vehículos favorecen la posibilidad de alcanzar velocidades mucho más elevadas, uno de los problemas actuales de los coches eléctricos.

Características de la batería de tracción:

— Tipo: Plomo-ácido para tracción.
— Capacidad: 330 A.h. (6 h.)
— Peso: 1.300 lbs.

Pesos del vehículo:

— Peso en vacío: 3625 lbs.
— Peso máximo: 4300 lbs.

Prestaciones:

— Velocidad media: 40 mph. (millas por hora).
— Aceleración: 0–30 mph en 20 segundos.
— Pendiente máxima superable: 10 % a 16 mph.
— Autonomía: ciclo de reparto de correo 30 millas.

Uso:

Flota del servicio de reparto de correos de la ciudad de Los Angeles, parque de 250 vehículos.

Nombre del vehículo: Lucas Van (Inglaterra)

Características del motor:

— Tipo: DC serie.
— Peso: 140 kg
— Potencia: 37,5 kW.



Camión eléctrico preparado para la recogida de basura en las grandes ciudades. (Cortesía: Tudor).

Características del control:

— Tipo: Troceador a tiristores.
— Peso: 30 kg

Características de la batería de tracción:

— Tipo: Plomo-ácido para tracción Lucas de bajo peso.
— Peso: 1000 kg.

Pesos del vehículo:

— Peso en vacío: 2370 kg.
— Peso máximo: 3070 kg

Prestaciones:

— Velocidad máxima: 50 mph.
— Aceleración: 0 – 30 mph en 11 segundos.
— Pendiente máxima superable: Arranca en una pendiente del 20 %



Sofisticado coche eléctrico para incapacitado. Los principios de funcionamiento de los coches eléctricos, pueden emplearse en mejorar las condiciones de movilidad de los minusválidos. (Cortesía: Fundesco).

— Velocidad crucero: 30 mph.
— Autonomía: a velocidad de crucero 100 millas.

Uso:

Furgón general de carga y reparto, con capacidad para 700 kg de carga incluyendo el conductor y el acompañante.

Nombre del vehículo: Lucas Electric Midi-Bus (Inglaterra)

Características del motor

— Tipo: DC de excitación separada.
— Peso: 600 kg
— Potencia: 97 kW

Características del control

— Tipo: Troceador de tiristores en el circuito de armadura.
Troceador de transistores en el de campo.
— Peso: 60 kg

Características de la batería de tracción

— Tipo: Plomo-ácido Lucas de bajo peso.
— Capacidad: 220 Ah (2 h)
— Peso: 2220 kg.

Pesos del vehículo:

— Peso en vacío: 7720 kg
— Peso máximo: 9943 kg

Prestaciones:

— Velocidad máxima: 50 mph
— Aceleración: 0 – 30 mph en 15 segundos.
— Velocidad de crucero: 40 mph.
— Autonomía: a velocidad de crucero 100 millas.

CONCLUSIONES

Los dos sistemas de tracción que ofrecen mejores prestaciones y un interés cara a futuros desarrollos son el motor de excitación independiente, con control mediante troceadores y microprocesadores, y el motor de inducción de jaula de ardilla, controlado por ondulador y microprocesador.

De estos dos sistemas, el de corriente alterna parece destacarse por sus mejores prestaciones y mayor autonomía, al poseer frenado regenerativo en toda la gama de velocidades. Si bien el coste económico básico es prácticamente el mismo para ambos sistemas, no es así con los costes de

mantenimiento, claramente más altos en el sistema de corriente continua.

Todo ello presenta al equipo con motor de inducción como candidato óptimo para la realización de vehículos eminentemente urbanos, como son furgonetas de reparto, taxis, etc., así lo demuestran las numerosas realizaciones de prototipos experimentales que, aplicando este sistema, se vienen desarrollando en diversos países.

Al mismo tiempo se trabaja sobre nuevos tipos de motores de inducción, empleando nuevos materiales a fin de reducir su tamaño para la misma potencia. Existen prototipos de motores capaces de desarrollar 15 CV con unas dimensiones aproximadas de 40 × 20 × 20 cm, si bien precisan de refrigeración forzada externamente mediante aceite. Esto, sumado a los avances continuos en las tecnologías electrónicas, presagia que el sistema de corriente alterna será la auténtica alternativa al motor de combustión interna, aunque habrá que esperar algunos años para ver circular por nuestras calles vehículos fabricados con esta tecnología.



Los camiones eléctricos consumen más energía que los vehículos utilitarios. Obsérvense las dimensiones de los recipientes que albergan los grupos de baterías.

Con ocasión de una Mesa Redonda organizada por la revista «MUNDO ELECTRONICO», y a la que asistieron varios especialistas en el tema, se citaron interesantes ideas acerca del futuro de los coches eléctricos, entre las que destacamos las siguientes:

1. Además de las modernas tendencias en los tipos de motores eléctricos ya expuestas a lo largo de este libro, se citaron las máquinas homopolares (motores homopolares), dada su gran seguridad, así como el motor «criogénico»; quien sabe si en los vehículos del futuro, en vez de gasolina o de batería, emplearemos como «combustible» el frío (helio).

2. Recientes estudios sobre la superconductividad de los materiales, permiten densidades de corriente no ya de 5-7 amperios por milímetro cuadrado, sino 300 y 400 A/mm^2, esperando alcanzar en breve los 3.000 A/mm^2. Si se llegan a cumplir estos pronósticos es de esperar una notabilísima reducción de los conductores eléctricos y de la chapa magnética de los motores eléctricos; es probable que esta nueva tecnología no esté disponible hasta dentro de 7-10 años.



Electric 007, de Jet Industries. Se trata de un vehículo deportivo de cuatro plazas capaz de funcionar con una autonomía de 8 horas.

3. El problema principal de los coches eléctricos siguen siendo las baterías.

En baterías de plomo, se ha pasado en dos décadas de las primitivas de 9 Wh/kg a las actuales de 50Wh/kg, con una vida media de unos 1.500 ciclos de carga-descarga. Además de lo dicho sobre las baterías, se está investigando en baterías de litio-cloro con una relación capacidad-peso realmente extraordinaria, 350 Wh/kg; el gran inconveniente que presentan estas baterías es la escasez de las reservas naturales de litio. También se investiga en baterías de litio-telurio, con excelentes resultados, pero con idénticos inconvenientes que los de litio-cloro.

Las baterías de hierro-aire y zinc-aire, con una relación



capacidad-peso de 120 a 130 Wh/kg son unas de las que ofrecen mayores perspectivas de futuro.

4. A lo largo de la Mesa Redonda se apuntó la idea de que en el supuesto de que la incorporación masiva del coche eléctrico fuera una realidad, las gasolineras deberían sustituirse por «baterieras», las cuales dispondrían de adecuados equipos de recarga, garantizando una buena atención y mantenimiento de las baterías.

Las baterías son esenciales en todo vehículo eléctrico. En la fotografía se muestran cuatro diversas aplicaciones.

5. Se habló también del vehículo híbrido, es decir, el que usa un motor eléctrico para su recorrido urbano, para conmutar al motor convencional de gasolina o gas-oil en los largos recorridos interurbanos.



Poco a poco los vehículos eléctricos se hacen visibles en las calles. Las series de fabricación son todavía cortas, pero su presencia se va notando día a día.

6. Se citó también el experimento realizado con un autocar alemán, al cual se le ha dotado de un volante inercial, pero dada su limitada utilidad no parece que esta experiencia pueda tener éxito.

7. Otros detalles a tener en cuenta en el diseño de vehículos eléctricos son los siguientes:

El coche eléctrico utilitario debe ser ligero, pequeño, disponer del adecuado espacio para alojar las baterías, estudiar la distribución de peso, que debe estar repartido y relativamente alejado de la tracción.

Se debe mejorar el sistema de parachoques; si la carrocería se realiza en plástico o fibra de vidrio, deberá reforzarse adecuadamente a fin de proteger a los ocupantes en caso de accidente. Se deberán aislar convenientemente las partes metálicas puesto que se trabaja con tensiones elevadas de batería.

En definitiva, *un rotundo Sí al coche eléctrico*, que esperamos sea una pronta y masiva realidad.

